



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

JULIANA TRINDADE LIMA

EFEITOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DA MANGUEIRA 'UBÁ'
EM RESPOSTA AO MANEJO DE DESPONTE E APLICAÇÃO DE
PACLOBUTRAZOL

VITÓRIA, ES

2018

JULIANA TRINDADE LIMA

**EFEITOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DA MANGUEIRA ‘UBÁ’
EM RESPOSTA AO MANEJO DE DESPONTE E APLICAÇÃO DE
PACLOBUTRAZOL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Diolina Moura Silva

VITÓRIA, ES

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal do
Espírito Santo, ES, Brasil)
Bibliotecário: Rafael Lima de Carvalho – CRB-6 MG-002926/O

L732e Lima, Juliana Trindade, 1988 -
Efeitos fisiológicos e bioquímicos da mangueira 'Ubá' em resposta ao
manejo de despolto e aplicação de paclobutrazol / Juliana Trindade Lima –
2018.
59 f. : il.

Orientador: Diolina Moura Silva.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro de Ciências da Saúde.

1. Fluorescência. 2. Clorofila. 3. Carboidratos. 4. Agroindústria.
I. Silva, Diolina Moura. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de
Ciências da Saúde. III. Título.

CDU: 61



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**"EFEITOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DA MANGUEIRA 'UBÁ' COMO
RESPOSTA AO MANEJO DE DESPONTE E APLICAÇÃO DE
PACLOBUTRAZOL"**

Juliana Trindade Lima

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da
Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção
do título de Mestre em Biotecnologia.

Aprovado por:

Prof. Dra. Diolina Moura Silva (UFES)

Orientadora

Prof. Dr. Alexandre Martins Costa Santos (UFES)

Membro Interno

+/ Prof. Dr. Moises Zucoloto (UFES)

Membro Interno – Participação Remota

Prof. Dr. Silas Pessini Rodrigues (UFRJ)

Membro Externo

Vitória-ES, 20 de fevereiro de 2018.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao INCAPER pelo apoio técnico.

À professora Dra. Diolina Moura Silva pela orientação e credibilidade.

Aos Professores que constituíram a Banca Examinadora por disporem de tempo para contribuírem com essa pesquisa.

Ao professor Dr. Moises Zucoloto pela oportunidade em participar desse projeto que integrou a Universidade e a sociedade, ao seu orientando Bernardo Torres Olmo, pela contribuição com os dados de produtividade.

Ao laboratório de Fisiologia e Bioquímica de Plantas da Universidade Federal do Espírito Santo, especialmente ao professor Dr. Geraldo Rogerio Faustini Cuzzuol e à sua orientanda Tatiane Aparecida Zorzal por disponibilizarem seus tempos para colaborar com esse trabalho.

Ao laboratório de Biotecnologia da área de Agronegócio, da Universidade Federal do Espírito Santo, especialmente a Tatiana Sá Antunes pelo apoio com metodologia.

Agradeço a todos do Núcleo de Estudos da Fotossíntese (NEF) Camilla, Leonardo, Thais, Ícaro, Fernando, Ramon, Karla, Amanda, Welbert, Inês, Romário por compartilhar momentos alegres e difíceis e pela colaboração na execução da pesquisa.

Ao sr. Eduardo Glaber e família por disponibilizar o pomar para a pesquisa.

Às minhas amigas Raiane Fioresi e Rayanne Ayres, pela amizade e apoio.

À minha família que sempre me incentivou com os estudos e compreenderam todas as minhas ausências.

Agradeço a todos que contribuíram diretamente e indiretamente para o alcance dessa conquista.

Enfim, ao Senhor que me guiou para chegar até aqui.

"Desistir... eu sempre pensei seriamente nisso, mas nunca me levei realmente a sério; é que tem mais chão nos meus olhos do que o cansaço nas minhas pernas, mais esperança nos meus passos do que tristeza nos meus ombros, mais estrada no meu coração do que medo na minha cabeça."
(Cora Coralina)

RESUMO

LIMA, J.T. **Efeitos fisiológicos e bioquímicos da mangueira ‘Ubá’ em resposta ao manejo de desponete e aplicação de paclobutrazol**. 2018. 60. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, UFES, Espírito Santo. Brasil.

A mangueira cv. Ubá possui uma floração irregular, o que limita a produção durante todo o ano. Com o aumento da demanda da manga ‘Ubá’ pela agroindústria de processamento de polpas e sucos do norte do ES, tornou-se essencial buscar tecnologias que melhorem sua produção. Assim, este trabalho objetivou analisar os efeitos fisiológicos e bioquímicos do desponete dos ramos e doses de paclobutrazol na indução floral da mangueira ‘Ubá’, localizada em um pomar comercial, em Colatina-ES, durante duas safras. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, em arranjo fatorial (2x5+1), sendo cinco doses de paclobutrazol (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 g m⁻¹ linear da copa), dois manejos de desponete dos ramos (com e sem desponete) e mais um tratamento adicional (testemunha) cujas plantas não sofreram poda, desponete dos ramos e aplicação do paclobutrazol. A fluorescência da clorofila *a* foi a técnica usada para avaliação da eficiência fotoquímica. Foram também determinados os teores de carboidratos, pigmentos cloroplastídicos e a produtividade. Os resultados indicaram que as plantas com desponete dos ramos nas doses 2,0 e 1,0 g m⁻¹ linear da copa do paclobutrazol para 2016 e 2017, respectivamente, melhoraram o desempenho fotoquímico do fotossistema II (PI_{ABS}), aumentaram o transporte de elétrons para além da quinona A (ψE₀) e o fluxo de transporte de elétrons (ET₀/CS₀). Os teores de açúcares solúveis totais e açúcares redutores das folhas aumentaram com o incremento das doses de paclobutrazol. Foi observada uma relação positiva entre produtividade e PI_{ABS}. Esses resultados permitem concluir que as aplicações do paclobutrazol combinado com o desponete dos ramos afetaram positivamente a eficiência fotoquímica da mangueira ‘Ubá’ refletindo em melhor produtividade.

Palavras-chave: Fluorescência da clorofila *a*. Desempenho fotoquímico. Indução floral. Carboidratos. Agroindústria.

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL EFFECTS OF 'UBÁ' MANGO TREE IN RESPONSE TO MANAGEMENT OF PRUNING AND APPLICATION OF PACLOBUTRAZOL

ABSTRACT

LIMA, J.T. Physiological and biochemical effects on 'ubá' mango tree in response to management of pruning and application of paclobutrazol. 2018. 60. Dissertation (Master in Biotechnology) - Postgraduation Biotechnological Programme, UFES, Espírito Santo. Brazil.

The 'Ubá' mango tree cultivar has an irregular flowering, which which limits production during the year. With the increasing demand for 'Ubá' mango by the pulp and juice processing industry in the north of the ES, it has become essential to seek technologies that improve the production of this crop. The objective of this work was to analyze the physiological and biochemical effects of the pruning of the branches and doses of paclobutrazol in the floral induction of the 'Ubá' mango tree, located in the commercial orchard in Colatina-ES during two plating seasons. The data were analyzed in a randomized block design with four replicates, in factorial arrangement (2x5+1), five doses of paclobutrazol (0; 0,5; 1,0; 1,5 and 2,0 linear g.m⁻¹ of the crown) and two branches management (with or without pruning) and an additional treatment (control) whose plants do not undergo pruning, pruning of the branches and application of paclobutrazol. The chlorophyll a fluorescence was the technique used to evaluate the photochemical efficiency, the carbohydrate and chloroplastidic pigment contents and the productivity were also determined. The results indicated that plants with pruning of the branches at the 2.0 and 1.0 gm⁻¹ linear doses of the paclobutrazol for 2016 and 2017, respectively, improved the photosynthetic performance of photosystem II (PI_{ABS}), increased electron transport moves further than quinone A (ψE_0) and the electron transport flux (ET₀/CS₀). The contents of total soluble sugars and reducing sugars of the leaves increased with the increment of the doses of paclobutrazol; however the levels of chloroplastídicos pigments reduced with the increase of the doses of the phytorregulator. There was a positive relationship between productivity and PI_{ABS}. The application of paclobutrazol

combined with the pruning of branches positively affected the photochemical efficiency of 'Ubá' mango leaves reflecting better productivity.

Key words: Chlorophyll *a* fluorescence. Photochemical performance. Floral induction. Carbohydrates. Agroindustry.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Estrutura química do Paclobutrazol. Fonte: MILFONT et al., 2008.17
- Figura 2. Fluxo de transporte de elétrons na membrana do tilacóide. Govindjee et al., (2010).21
- Figura 3. Vista geral do pomar de mangueira 'Ubá', em Colatina (ES), 2017 onde o estudo foi realizado.23
- Figura 4. Temperatura diária (°C) em 2016 e 2017, Aimorés (MG).Fonte: INMET. .24
- Figura 5. Precipitação média mensal (mm) em 2016 e 2017, Aimorés (MG). Fonte: INMET.24
- Figura 6.Técnica de desponte dos ramos na mangueira.25
- Figura 7.Fluorescência variável relativa [$V_{OP} = (F_t - F_0)/(F_M - F_0)$] (A e B) e diferença cinética normalizadas ($\Delta V_t = V_{t(\text{tratamento})} - V_{t(\text{testemunha})}$) (C e D) de folhas de mangueira 'Ubá' sem desponte (A e C) e com desponte (B e D) submetidas a diferentes níveis de PBZ (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). O tempo está representado em escala logarítmica (ms) (n=4).33
- Figura 8.Banda K obtida pela diferença cinética normalizada entre os passos O e J [$\Delta V_{OJ} = V_{OJ(\text{tratamento})} - V_{OJ(\text{testemunha})}$] (A e B) e Banda L obtida pela diferença cinética normalizada entre os passos O e K [$\Delta V_{OK} = V_{OK(\text{tratamento})} - V_{OK(\text{testemunha})}$] (C e D) em folhas de mangueira 'Ubá' sem e com desponte submetidas a diferentes doses de PBZ (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). O tempo está representado em escala logarítmica (ms) (n=4).34
- Figura 9.Parâmetros da fluorescência da clorofila a obtidos a partir do teste JIP em folhas de mangueira cv. Ubá sem desponte (A) e com desponte (B) submetidas às diferentes níveis de paclobutrazol (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). Os valores foram normalizados usando a testemunha como referência e igual à unidade (n=4).36
- Figura 10. Relação entre o desempenho fotoquímico do fotossistema II (PI_{ABS}) e Produtividade em mangueira 'Ubá', submetidas a diferentes níveis de paclobutrazol (PBZ) em Colatina/ES, 2016.37
- Figura 11.Produtividade em mangueira 'Ubá', submetidas ao desponte dos ramos: A, sem desponte; B, com desponte. Colatina (ES) – 2016.38

Figura 12. Efeito de doses de paclobutrazol sobre: A, clorofila *a*; B, clorofila total; C, carotenóides. As barras indicam o erro padrão da média de quatro repetições.....39

Figura 13. Efeito de doses de paclobutrazol sobre: A. Carboidratos totais solúveis; B. carboidratos redutores. As barras indicam o erro padrão da média de quatro repetições.....41

Figura 14. Fluorescência variável relativa [$V_{OP} = (F_t - F_0)/(F_M - F_0)$] (A e B) e diferença cinética normalizadas ($\Delta V_t = V_{t(\text{tratamento})} - V_{t(\text{testemunha})}$) (C e D) de folhas de mangueira 'Ubá' sem desponete (A e C) e com desponete (B e D) submetidas a diferentes níveis de PBZ (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). O tempo está representado em escala logarítmica (ms) (n=4).....42

Figura 15. Banda K obtida pela diferença cinética normalizada entre os passos O e J [$\Delta V_{OJ} = V_{OJ(\text{tratamento})} - V_{OJ(\text{testemunha})}$] (A e B) e Banda L obtida pela diferença cinética normalizada entre os passos O e K [$\Delta V_{OK} = V_{OK(\text{tratamento})} - V_{OK(\text{testemunha})}$] (C e D) em folhas de mangueira 'Ubá' sem e com desponete submetidas a diferentes níveis de PBZ (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). O tempo está representado em escala logarítmica (ms) (n=4).....43

Figura 16. Parâmetros da fluorescência da clorofila *a* obtidos a partir do teste JIP em folhas de mangueira cv. Ubá sem desponete (A) e com desponete (B) submetidas a diferentes níveis de paclobutrazol (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). Os valores foram normalizados usando a testemunha como referência (n=4).....45

Figura 17. Relação entre o desempenho fotoquímico do fotossistema II (PI_{ABS}) e Produtividade em mangueira 'Ubá', submetidas a diferentes níveis de paclobutrazol (PBZ) em Colatina/ES, 2017.46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABA	Ácido Abscísico.
AR	Açúcares Redutores
AST	Açúcares Solúveis Totais
Car	Carotenóides
CD	Com Desponte
CEO	Complexo de Evolução do Oxigênio
Chl	Clorofila
CR	Centros de Reação
FSI	Fotossistema I
FSII	Fotossistema II
PBZ	Paclobutrazol
Q _A	Quinona A
SD	Sem Desponte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 INDUÇÃO FLORAL	15
2.2 CULTIVAR UBÁ	16
2.3 PACLOBUTRAZOL	16
2.4 DESPONTE DOS RAMOS	18
2.5 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA <i>a</i>	19
3 OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GERAL	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO	23
4.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA	27
4.3 AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE CLOROFILA	29
4.4 EXTRAÇÃO DE PIGMENTOS CLOROPLASTÍDICOS E CARBOIDRATOS	29
4.5 PRODUTIVIDADE	30
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
5 RESULTADOS	32
5.1 SAFRA DE 2016	32
5.1.1 Pigmentos Cloroplastídicos	32
5.1.2 Cinética da Fluorescência transiente OJIP	32
5.1.3 Relação entre Produtividade e eficiência fotoquímica	37
5.2 SAFRA DE 2017	38
5.2.1 Pigmentos Cloroplastídicos	38
5.2.2 Teores de Carboidratos	41
5.2.3 Cinética da Fluorescência transiente OJIP	42
5.2.4 Relação entre Produtividade e eficiência fotoquímica	46
6 DISCUSSÃO	47
7 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma árvore frutífera, dicotiledônea, da família Anacardiaceae, originada do Sudeste da Ásia e difundiu-se para as regiões tropicais. Em 2015, o Brasil produziu 976.815 toneladas com uma área colhida de 64.305 hectares de manga, ocupando a sétima posição como produtor mundial e o quarto lugar como exportador (FAO, 2017). As principais regiões produtoras são o Nordeste e o Sudeste com 67 e 31,48% da produção nacional (IBGE-PAM, 2015).

O agronegócio do Espírito Santo (ES) tem se destacado em produção da fruta com 14 mil toneladas por ano, assumindo a 8ª posição como maior produtor de manga do país com geração de emprego e renda (IBGE-PAM, 2015).

No norte do Estado o cultivo da manga tem grande importância socioeconômica, pois nessa região estão localizadas as agroindústrias de processamento de polpas e sucos. À vista disso, em 2003 foi criado o Polo de Manga para a Indústria no Estado do Espírito Santo, no qual o governo incentivou a expansão da área plantada de manga objetivando ampliação da produção e produtividade como também a melhoria da qualidade do fruto (INCAPER, 2009).

Entre as cultivares, a manga 'Ubá' tem se destacado com a alta demanda pelo mercado consumidor, principalmente, pelas indústrias de processamento de polpas e sucos. Essa cultivar possui uma polpa com coloração amarelada, suculenta e saborosa, com alto teor de sólidos solúveis, fibras curtas e macias, vitaminas A e C e alto rendimento industrial (BENEVIDES et al., 2008).

Apesar da procura crescente no mercado, o cultivo da manga 'Ubá' apresenta grandes problemas, como baixa produtividade média (LEMOS, 2014), alternância na produção e floração irregular (DAVENPORT, 2007). Com isso, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que adequem o manejo da mangueira 'Ubá'.

O emprego de reguladores de crescimento tem sido uma tecnologia aplicada em diferentes culturas para induzir a floração. Entre os fitorreguladores, o paclobutrazol (PBZ) é considerado o mais importante para promover a indução floral em mangueira (DAVENPORT, 2007). Além de estar relacionado ao aumento da

produtividade em frutas cultivadas (SAXENA et al., 2014), atribuído à melhora da fotossíntese (FARIA-SILVA et al., 2017).

A aplicação do PBZ modificou a atividade fotossintética em trigo (DWIVEDI; KUMAR, 2016), melancia (BANINASAB, 2009) e manga 'Palmer' (SOUZA et al., 2016). Entretanto, não há registros na literatura sobre os efeitos desse composto na eficiência fotoquímica da mangueira 'Ubá'. Portanto, estudá-lo por meio da fluorescência da clorofila *a*, uma ferramenta tecnológica eficiente na indicação das condições fisiológicas das plantas (STRASSER et al., 2000, 2004; YUSUF et al. 2010), permitirá ampliar o conhecimento da interação deste indutor/inibidor com o processo fotossintético.

O PBZ restringe o crescimento vegetativo pela redução dos níveis endógenos de giberelinas, proporcionando o acúmulo de fotoassimilados essenciais para o período reprodutivo das mangueiras (FLETCHER et al., 2000; TAIZ ; ZEIGER, 2012). Combinado à aplicação do PBZ para a indução floral, o desponte dos ramos é uma técnica que consiste na retirada do ápice dos ramos produtivos com a finalidade de uniformizar e aumentar o florescimento da mangueira (OLIVEIRA, 2015).

A indução floral tem sido aplicada com sucesso no nordeste brasileiro e em Minas Gerais, mas não há informações na literatura sobre essa tecnologia na mangueira 'Ubá' no norte do ES. Sabendo que as respostas do PBZ podem variar na mangicultura conforme o clima, nutrição e idade das plantas (ALBURQUERQUE et al., 2002), o desafio é identificar a dose e modo de aplicação adequados (DAVENPORT, 2007). Essa tecnologia é determinante para a sincronização da floração proporcionando o escalonamento e aumento da produção durante o ano (UPRETI et al., 2013), o que favorecerá a competitividade no mercado de fruteiras e irá impulsionar a cultura da mangueira no agronegócio do ES.

Nesse contexto, características fisiológicas e bioquímicas foram avaliadas para testar as seguintes hipóteses: a) o PBZ torna mais eficiente o processo fotossintético da mangueira 'Ubá' durante o período reprodutivo e b) o PBZ quando associado ao desponte dos ramos influencia diretamente a eficiência fotoquímica e a produtividade da mangueira 'Ubá'

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDUÇÃO FLORAL

A floração na mangueira ocorre de forma desuniforme. Em uma mesma planta podem ser encontradas áreas em diferentes estádios de crescimento, isto é, podem ser encontradas na copa, áreas somente com fluxos vegetativos, outras com fluxos reprodutivos e ainda, outras com fluxos mistos devido ao grau de maturação dos ramos terminais (RAMÍREZ; DAVENPORT, 2010). Esses estádios podem variar conforme as condições de clima, solo e manejo da cultura (CUNHA, 2000).

A indução floral é uma tecnologia adotada para sincronizar a floração com a finalidade de aumentar a produção. Além dos reguladores de crescimento, são necessárias outras práticas como poda, aplicação de nitratos e desbaste dos ramos.

A poda de produção é realizada logo após a colheita e consiste na retirada de ramos produtivos e vegetativos para uniformizar os fluxos de crescimento para obtenção de gemas homogêneas e férteis. Além disso, favorece a aeração e a eliminação de ramos doentes (DAVENPORT, 2006).

A temperatura é um dos principais fatores climáticos que afeta a floração da mangueira. Temperaturas entre 18 e 20 °C decrescem os níveis do promotor vegetativo (ácido giberélico) e favorece o aumento do promotor florigênico resultando em floração na mangueira (DAVENPORT, 2007). O estresse hídrico é essencial no período que antecede o florescimento para manter o repouso vegetativo (RAMÍREZ; DAVENPORT, 2010). Diante da inviabilidade em regular a temperatura e a precipitação nos pomares comerciais, tem-se utilizado os reguladores de crescimento para retardar o crescimento vegetativo. Esses compostos alteram os níveis de giberelina, auxina, citocinina e carboidratos (UPRETI et al., 2013).

A aplicação do nitrato de potássio (KNO_3) durante o manejo da floração estimula a iniciação do crescimento dos ramos, pois quebra a dormência das gemas. O efeito do nitrato de potássio é desencadear a formação da enzima redutase do nitrato para induzir a síntese de aminoácidos (DAVENPORT, 2007; RAMÍREZ; DAVENPORT, 2010).

O desponte dos ramos consiste na retirada do ápice caulinar de ramos produtivos (OLIVEIRA, 2015). Essa prática é utilizada para aumentar a produção, uma vez que estimula a emissão de ramos laterais, e com isso aumenta a probabilidade de formação de panículas e como consequência de frutos (OLIVEIRA et al., 2015).

2.2 CULTIVAR UBÁ

A cultivar Ubá é uma árvore vigorosa, de grande porte, possui copa densa e bem enfolhada, porém possui baixa produtividade média (DONADIO, 1996; LEMOS, 2014).

O fruto é pequeno com polpa amarelada, succulenta com fibras curtas e macias, altos teores de sólidos solúveis (18 a 21° BRIX), Vitaminas A e C e alto rendimento industrial (BENEVIDES et al., 2008). A alta demanda no mercado consumidor, principalmente para as indústrias de processamento de polpas e sucos, é devido a estas características. O suco também é utilizado no processo de blendagem, no qual é misturado com o suco de outras cultivares para realçar o sabor e a cor (OLIVEIRA et al., 2013).

2.3 PACLOBUTRAZOL

O paclobutrazol (PBZ) é um composto triazol, $[(2\text{RS}-3\text{RS})-1-(4\text{-clorofenil})\ 4,4\text{-dimetil-2-(1,2,4-triazol-1-y)-pentan-3-ol}]$, caracterizado por possuir estrutura em

anel contendo três átomos de nitrogênio, clorofenil e cadeias laterais de carbono com fórmula empírica $C_{15}H_{20}N_3ClO$ (FLETCHER et al., 2000), ponto de fusão 165-166 °C, densidade de 1,22 g mL⁻¹ e solubilidade em água de 35 mg L⁻¹. É um fitorregulador de crescimento em que a molécula é hidrofóbica, porém a o ciclo insaturado com o nitrogênio (N) e a hidroxila (OH) é hidrofílica (MILFONT et al., 2008). A estrutura química está ilustrada na figura 1.

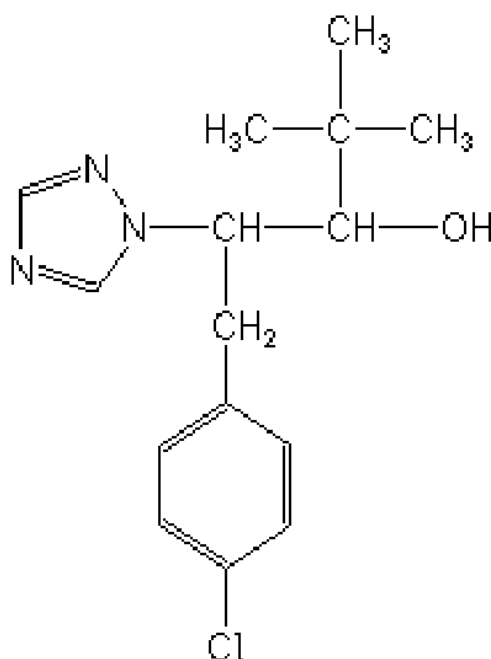


Figura 1. Estrutura química do Paclobutrazol. Fonte: MILFONT et al., 2008.

O PBZ retarda o crescimento vegetativo inibindo a biossíntese de giberelina pelo bloqueio da atividade das enzimas monooxigenases P_{450} , assim impede a oxidação do ent-caureno a ácido ent-caurenóico, o qual é precursor do ácido giberélico (FLETCHER et al., 2000; TAIZ ; ZEIGER, 2013). Além de inibir a biossíntese da giberelina, o PBZ concomitantemente pode alterar os níveis de citocinina, ácido abscísico e etileno (FLETCHER et al., 2000). A aplicação do fitorregulador na mangueira ‘Totapuri’ aumentou os níveis do ácido abscísico e citocininas e reduziu os níveis de giberelina nas gemas o que proporcionou a iniciação do florescimento (UPRETI et al., 2013).

A aplicação do PBZ pode ser na forma de pulverização foliar ou no solo, porém a aplicação no solo tem se mostrado mais eficiente (ALBUQUERQUE et al, 2002). O solo precisa estar irrigando antes da aplicação do PBZ, pois a água conduz o produto até as raízes e em seguida, translocado via xilema para as folhas e brotos, (BENETT et al., 2014). Sua mobilidade no solo é lenta e pode permanecer ativo por anos, afetando cultivos subseqüentes (HAMPTON, 1988). Albuquerque e Mouco (2000) sugerem que a aplicação no segundo ano pode ser reduzida em até 50% e Sharma e Awasthi (2005) apesar de não encontrarem resíduos de PBZ nos frutos de mangueira 'Alphonso', relatam que o produto ainda foi encontrado no solo após 8 meses da aplicação e observaram acúmulo do composto, nas plantas, após a aplicação anual.

A resposta ao PBZ varia conforme o clima, época de aplicação, idade e vigor da planta, a dose e o modo de aplicação (ALBURQUERQUE et al., 2002; DAVENPORT, 2007) e assim, cada um destes fatores, constituem grandes obstáculos para o agricultor tornando necessários estudos detalhados das exigências da cultivar na região de plantio, antes do produto ser aplicado.

Estudos têm mostrado que o florescimento em mangueira pode ser controlado por fatores hormonais e pelos carboidratos (SANTOS-VILLALOBOS et al., 2013). Também têm evidenciado que a aplicação do PBZ altera o fenótipo das plantas provocando respostas variadas, tais como aumento dos teores de clorofila, carotenóides, redução da área foliar (PERCIVAL; ALBALUSHI, 2007), alteração das trocas gasosas (SOUZA et al., 2016), aumento no potencial antioxidante (FLETCHER et al., 2000; JALEEL et al., 2007; SAXENA et al., 2014).

2.4 DESPONTE DOS RAMOS

O desponte dos ramos consiste na remoção de cinco centímetros do ápice para a base dos ramos produtivos (OLIVEIRA, 2015). Esta prática tem por finalidade

uniformizar e aumentar o florescimento da mangueira e como resultado aumenta a produtividade (OLIVEIRA et al., 2015).

A dominância apical impede o crescimento de gemas laterais pelos altos teores de auxina. A remoção do ápice caulinar reduz os teores de auxina e ácido abscísico, com isso novos ramos laterais se desenvolvem e permite o acúmulo de fotoassimilados e citocininas estimulando a floração (SRIVASTAVA, 2002, TAIZ; ZEIGER, 2013).

A paralização do crescimento vegetativo pelo PBZ impede a distribuição da seiva elaborada e, com isso ocorre o acúmulo de carboidratos nos ramos, levando-os a maturação (SRIVASTAVA, 2002; TAIZ; ZEIGER, 2013). Oliveira et al. (2015) observaram em mangueiras 'Palmer' e Oliveira et al. (2017) observaram nas mangueiras 'Ubá' que o desponte dos ramos induz o aumento da produção de panículas por ramos confirmando a hipótese.

2.5 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a*

A fluorescência da clorofila *a* é a reemissão de energia pela clorofila, após a intercepção de luz por uma folha (e outros órgãos fotossintetizante). Os destinos alternativos da luz após a interceptação são a dissipação como calor (ou não-fotoquímica), fotossíntese (fotoquímica) e a fluorescência (MAXWELL; JOHNSON, 2000). É importante notar que esses destinos estão ligados entre si, isto é, uma mudança em um resulta em uma mudança nos outros dois (MAXWELL; JOHNSON, 2000) e é esse fenômeno que permite que as medidas da fluorescência da clorofila *a* sejam particularmente úteis para estudos do comportamento das plantas.

A fluorescência da clorofila *a* é uma ferramenta tecnológica eficiente, sensível e não invasiva capaz de detectar alterações estruturais e funcionais das estruturas fotossintéticas desde a absorção, captura e transporte de energia ao longo da membrana do tilacóide (STRASSER et al., 2000, 2004; YUSUF et al., 2010). As medições de fluorescência são feitas por meio do fluorômetro portátil (Handy-PEA, Hansatech Instruments[®], King's Lynn, Norfolk, UK). Esta técnica fornece

informações sobre o *status* e a função dos centros de reação do fotossistema II (FSII) e dos complexos coletores de luz (LHC) nos lados do doador (P_{680}) e aceitador (feofitina) (KALAJI et al., 2016).

De um modo mais geral, as medidas da fluorescência da clorofila *a* relacionam-se, direta ou indiretamente, a todos os estágios das reações fotossintéticas dependentes da luz, incluindo a fotólise da água, o transporte de elétrons, a formação do gradiente de pH na membrana do tilacóide e a síntese de ATP e, portanto, a condição bioenergética geral da maquinaria fotossintética, figura 2 (KALAJI et al., 2016).

Embora esta informação possa parecer altamente especializada, ela tem sido usada para medir e, em alguns casos, classificar o *status* fisiológico das plantas diante de condições de estresse hídrico (PERCIVAL; ALBALUSHI, 2007), calor (CHEN, et al., 2016), produtos químicos (PERCIVAL; NOVISS, 2008) que afetam os processos fotossintéticos.

A iluminação de uma amostra fotossintética adaptada ao escuro permite a obtenção de uma curva polifásica de indução de fluorescência de clorofila *a* (O-J-I-P). A trajetória da curva fornece informações consideráveis sobre a estrutura e função do aparelho fotossintético (STRASSER et al., 2004). O Passo O ou a fluorescência mínima (F_0), mensurada aproximadamente aos 20 μ s, ocorre quando todos os centros de reação do fotossistema II estão abertos (oxidados), o Passo J (~ 2 ms), o Passo I (~30 ms) e o Passo P (também designado de F_M ou fluorescência máxima) considerado quando todos os centros de reação estão fechados (STRASSER E STRASSER, 1995). Em determinadas circunstâncias podem aparecer novos passos, designados como bandas, entre o transiente OJIP. A Banda K (300 μ s) está relacionada ao complexo de evolução do oxigênio e a Banda L (aproximadamente a 150 μ s) cujo aparecimento reflete a conectividade energética entre as unidades do fotossistema II (STRASSER et al., 2004).

Estas curvas OJIP apresentam três fases distintas: A fase O-J é caracterizada pela redução do aceptor de elétrons do FSII, Quinona A e B (QA e QB); J-I reflete à excitação do FSII até a redução do pool de plastoquinona e a fase I-P representa a

transferência dos elétrons até o lado acceptor do FSI (STRASSER et al, 2004; YUSUF et al., 2010).

O transiente OJIP é quantificado em parâmetros biofísicos pelo teste JIP baseados na absorção, captura e transporte de energia. (STRASSER E STRASSER, 1995). Entre os parâmetros do teste JIP, destaca-se o índice de desempenho do fotossistema II (PI_{ABS}) e o índice de desempenho fotoquímico total (PI_{TOTAL}). Os valores de PI_{ABS} e PI_{TOTAL} mostram serem medidas altamente sensíveis às atividades fotossintéticas das folhas e representam o produto de vários parâmetros independentes que combinam critérios estruturais e funcionais. Esses critérios incluem a densidade dos centros de reação, a eficiência quântica da etapa inicial fotoquímica e a conversão da energia de excitação no transporte de elétrons (STRASSER et al., 2000, 2004, 2010).

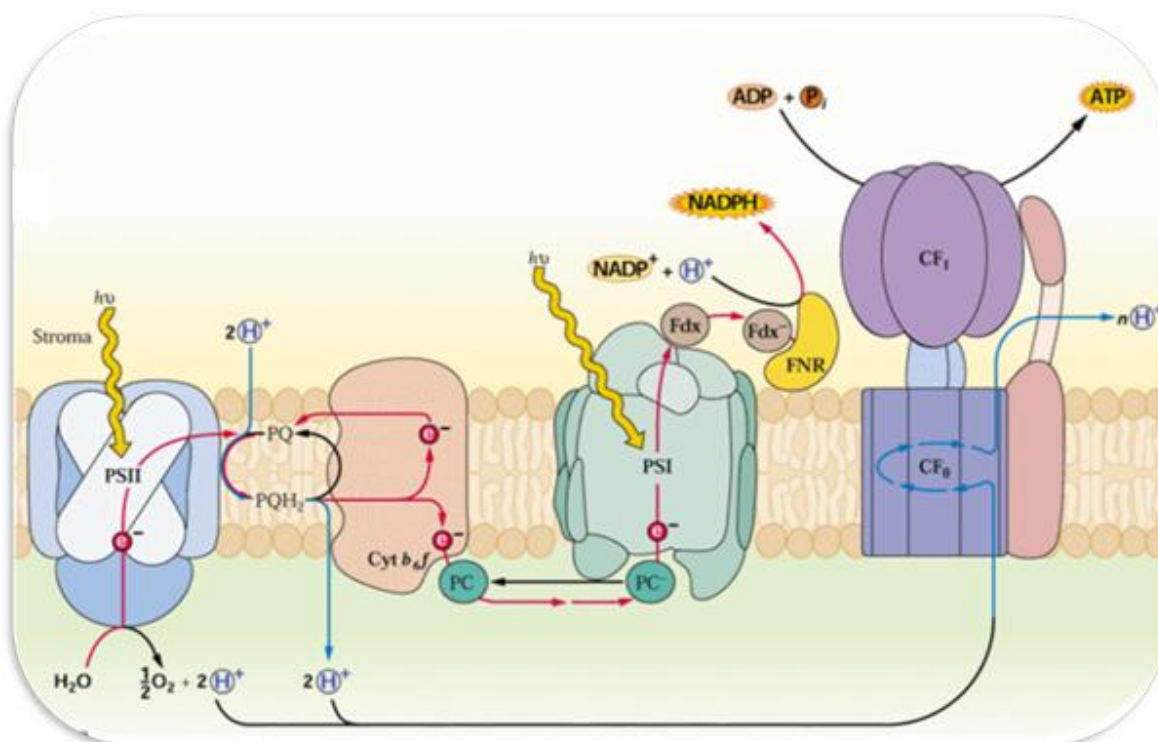


Figura 2. Fluxo de transporte de elétrons na membrana do tilacóide. Govindjee et al., (2010).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem na mangueira 'Ubá' com a combinação do manejo de desponte dos ramos e aplicação de diferentes doses de paclobutrazol.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a atividade fotossintética nas folhas da mangueira 'Ubá' durante o ciclo reprodutivo, usando a técnica da fluorescência da clorofila *a* como ferramenta de estudo;
- Analisar o efeito da combinação do manejo de desponte com a aplicação de diferentes doses de paclobutrazol sobre os parâmetros fotoquímicos da fotossíntese, teores de pigmentos cloroplastídicos, teores de açúcares redutores e não redutores produzidos nas folhas da mangueira 'Ubá';
- Avaliar as relações entre a eficiência fotossintética e a produtividade da mangueira cv. Ubá sob a combinação do manejo de desponte e diferentes doses de paclobutrazol.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO

O estudo foi desenvolvido em um pomar comercial de mangueiras (*Mangifera indica* L.), cultivar Ubá com cinco anos de plantio no município de Colatina, ES (19° 32' 32.71" 40° 45' 49.73" e altitude de 210 m) durante as safras de 2016 e 2017, entre setembro e dezembro de ambos os anos. Foram selecionadas quarenta e quatro plantas em condições de sequeiro, com 7x6 de espaçamento (Figura 3).



Figura 3. Vista geral do pomar de mangueira 'Ubá', em Colatina (ES), 2017 onde este estudo foi realizado.

O clima local segundo Köppen (SILVA et al., 2010) é descrito como Aw, sendo tropical úmido com inverno seco, verões chuvosos e temperatura média anual 28 °C. Os dados meteorológicos utilizados no estudo foram fornecidos pela estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no município de Aimorés/MG. A temperatura média anual foi 24.6 °C e 23.6°C para

2016 e 2017, respectivamente (Figura 4). A precipitação anual em 2016 foi de 778 mm e em 2017 foi 327 mm (Figura 5).

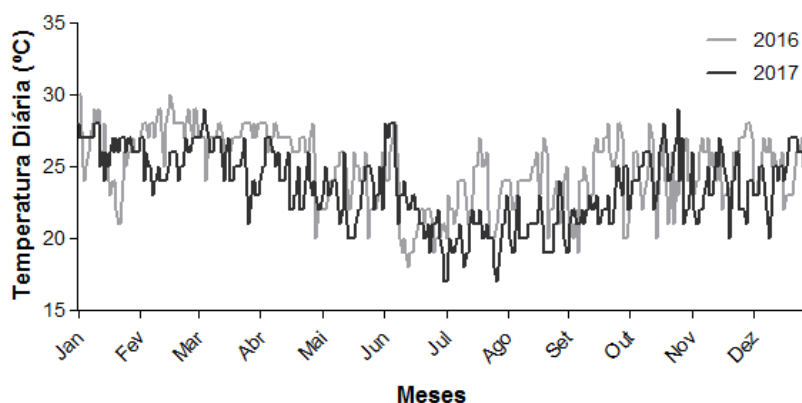


Figura 4. Temperatura diária (°C) em 2016 e 2017, Aimorés (MG).Fonte: INMET.

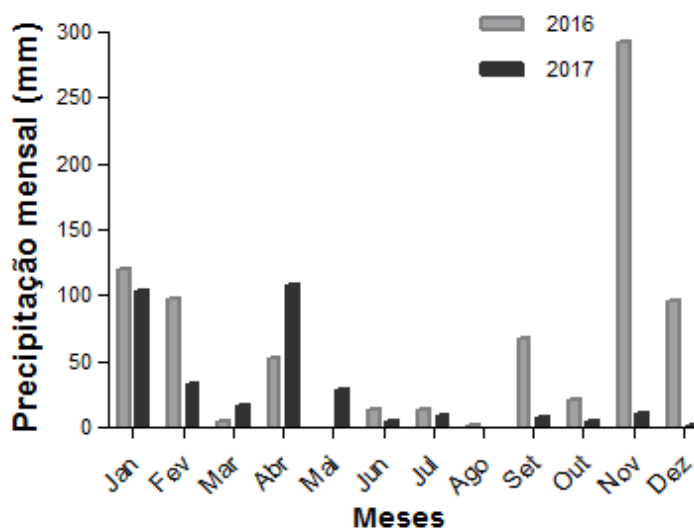


Figura 5. Precipitação média mensal (mm) em 2016 e 2017, Aimorés (MG). Fonte: INMET.

O experimento teve duas fontes de variação: manejo de desbaste de ramos e cinco doses de paclobutrazol (PBZ). O processo de preparação para indução do florescimento, que consiste em uma poda de abertura central e na eliminação de ramos indesejáveis, teve início logo após a colheita dos frutos da safra de

2015/2016. O paclobutrazol [Cultar® 250 SC (Syngenta), com 25% de ingrediente ativo] foi aplicado, via solo, após dois fluxos de brotação, nas concentrações de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; e 2,0 g de ingrediente ativo por metro linear da copa. O desponte dos ramos foi realizado com o intuito de aumentar a produtividade e foram realizados 100 dias após a aplicação do paclobutrazol (Figura 6). Após o desponte dos ramos, foram realizadas três pulverizações com nitrato de potássio (KNO_3) para estimular a brotação.



Figura 6. Técnica de desponte dos ramos na mangueira.

O delineamento experimental foi distribuído em quatro blocos ao acaso, em arranjo fatorial $(2 \times 5) + 1$, com uma planta por parcela. Foi acrescentado em cada bloco um tratamento adicional, testemunha, que não sofreu poda, desponte e aplicação de PBZ. Em 2017, as concentrações de PBZ foram reduzidas em 40% devido à baixa mobilidade do composto no solo.

Os tratamentos aplicados neste trabalho foram:

1. SD0.0 = plantas sem desponete e 0,0 g de ingrediente ativo por metro linear da copa do PBZ;
2. SD0.5 = plantas sem desponete e 0,5 g de ingrediente ativo por metro linear da copa do PBZ;
3. SD1.0 = plantas sem desponete e 1,0 g de ingrediente ativo por metro linear da copa do PBZ;
4. SD1.5 = plantas sem desponete e 1,5 g de ingrediente ativo por metro linear da copa do PBZ;
5. SD2.0 = plantas sem desponete e 2,0 g de ingrediente ativo por metro linear da copa do PBZ;
6. CD0.0 = plantas com desponete e 0,0 g de ingrediente ativo por metro linear da copa do PBZ;
7. CD0.5 = plantas com desponete e 0,5 g de ingrediente ativo por metro linear da copa do PBZ;
8. CD1.0 = plantas com desponete e 1,0 g de ingrediente ativo por metro linear da copa do PBZ;
9. CD1.5 = plantas com desponete e 1,5 g de ingrediente ativo por metro linear da copa do PBZ;
10. CD2.0 = plantas sem desponete e 2,0 g de ingrediente ativo por metro linear da copa do PBZ;
11. TE = plantas sem poda, sem desponete e sem PBZ.

Quando necessário, foram realizadas pulverizações com inseticidas e fungicidas para o controle de pragas e doenças, bem como de herbicidas para o controle de ervas daninhas.

4.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA

As análises da eficiência fotoquímica das plantas foram realizadas com o fluorômetro portátil (Handy-PEA, Hansatech Instruments[®], King's Lynn, Norfolk, UK). Folhas jovens completamente desenvolvidas (quarta folha a partir do ápice), localizadas em ramos do terço médio das plantas, foram adaptadas ao escuro por 40 minutos para a completa oxidação dos centros de reação dos fotossistemas I e II, e em seguida submetidas a um flash de luz vermelha (650 nm) saturante com cerca de $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante um segundo em uma área de 4mm de diâmetro. Os sinais de fluorescência foram registrados entre 20 μs a 1 s e estão relacionados com o fluxo de energia em biomembranas (Strasser e Strasser, 1995). Aos 20 μs foi registrado a fluorescência mínima (F_0) e entre 300 e 400 ms a intensidade de fluorescência máxima (F_M). A partir desses dados foram obtidos a fluorescência variável relativa usando a equação ($V_t = (F_t - F_0)/(F_M - F_0)$), a banda L [$V_{OK} = (F_t - F_0)/(F_K - F_0)$] e a banda K [$V_{OJ} = (F_t - F_0)/(F_J - F_0)$]. Parâmetros biofísicos foram quantificados pelo teste JIP obtidos das curvas OJIP da fluorescência da clorofila a (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetro da fluorescência da clorofila *a* quantificados pelo teste JIP (Chen et al., 2016; Faria-Silva et al., 2017; Strasser et al., 2010)

Parâmetro	Fórmulas	Descrição
$F_0 \cong 20\mu s$		Fluorescência mínima, quando todos os centros de reação estão oxidados (abertos).
F_M		Fluorescência máxima, quando todos os centros de reação estão reduzidos (fechados).
ABS/CS_0	Chl/CS	Fluxo de absorção por seção transversal excitada (CS) no $t = 0$
TR_0/CS_0	$\phi P_0 (ABS/CS)$	Fluxo de energia capturada por CS no $t=0$
DI_0/CS_0	$ABS/RC - TR_0/RC$	Fluxo de energia dissipada por CS no $t=0$
ET_0/CS_0	$\phi P_0 \cdot \Psi_0 \cdot (ABS/CS)$	Fluxo de transporte de elétrons por CS no $t=0$
RE_0/CS_0	$(RE_0/ET_0) - ET_0/CS_0$	Fluxo de redução dos aceptores finais de elétrons, no lado acceptor de elétrons do FSI por CS no $t=0$
ϕP_0	$F_V/F_M = TR_0/ABS = 1 - F_0/F_M$	Rendimento quântico máximo das reações redox que ocorrem no FSII
ΨE_0	$ET_0/TR_0 = (1 - V_J)$	Eficiência/Probabilidade em que um elétron pode mover-se para além da Quinona A (Q_A)
RC/ABS	$\phi P_0 (V_J / M_0)$	redução da Q_A por centro de reação do fotossistema II (Densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos do FSII)
ϕR_0	$RE_0/ABS = \phi P_0 (1 - V_I)$	Rendimento quântico para a redução dos aceptores finais de elétrons no lado acceptor do FSI
δR_0	$RE_0/ET_0 = (1 - V_I)/(1 - V_J)$	Eficiência/Probabilidade com que um elétron vindo dos carregadores de elétrons do intersistema é transferido para reduzir os aceptores finais de elétrons no lado acceptor do FSI
PI_{ABS}	$\gamma RC / (1 - \gamma RC) (\phi P_0 / (1 - \phi P_0) (\Psi E_0 / (1 - \Psi E_0)))$	Índice de desempenho (potencial) para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos aceptores de elétrons do intersistema
PI_{TOTAL}	$PI_{ABS} (\delta R_0 / (1 - \delta R_0))$	Índice de desempenho (potencial) para a conservação de energia dos fótons absorvidos pelo FSII para a redução dos aceptores finais de elétrons do FSI
RC/CS_0	$\phi P_0 (V_J / M_0) (ABS/CS)$	Centros de reação ativos do FSII por seção transversal excitada
V_t	$(F_t - F_0) / (F_M - F_0)$	Fluorescência variável relativa
ΔV_t	$V_{t(\text{testemunha})} - V_{t(\text{tratamento})}$	Diferença cinética da fluorescência variável relativa

4.3 AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE CLOROFILA

O teor relativo de clorofila nas folhas foi estimado usando-se um clorofilômetro (SPAD-502, Minolta, Japão). Esse aparelho emite luz na faixa do vermelho (650 nm), comprimento de onda compreendido entre as faixas de absorção das clorofilas *a* e *b* (663 e 645, respectivamente). A transmitância destas duas intensidades de luz é detectada e convertida em sinais digitais. A diferença entre elas é lida como índice da concentração de clorofila, as quais são expressas em unidades de clorofila ou índice de clorofila. As medidas foram realizadas nas mesmas folhas onde foram feitas as avaliações da fluorescência da clorofila *a* em cinco pontos distintos da folha para obtenção de uma média expressa em unidades de clorofila ou índice de clorofila.

4.4 EXTRAÇÃO DE PIGMENTOS CLOROPLASTÍDICOS E CARBOIDRATOS

Os teores dos pigmentos cloroplastídicos (clorofilas *a* e *b*, e carotenóides) e dos carboidratos solúveis (carboidratos solúveis totais, redutores e sacarose), foram obtidos a partir de um único extrato de 18 mg de tecido foliar liofilizado que foi macerado em gral de porcelana com 15 mL de etanol 95%, a 4 °C. O extrato foi mantido por 24 h a 8 °C, no escuro e com agitação constante sobre uma mesa agitadora. Posteriormente, o extrato foi centrifugado a 1450 x g, durante 20 min, a 4 °C, e o sobrenadante coletado para as análises. O extrato foi lido em espectrofotômetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Waltham, EUA) nos comprimentos de onda 470, 648 e 664 nm para a determinação das clorofilas e carotenóides. As concentrações dos pigmentos foram calculadas conforme as equações de Lichtenthaler e Buschmann (2001): Clorofila *a* = $13,36.A_{664} - 5,19.A_{648}$; Clorofila *b* = $27,43.A_{648} - 8,12.A_{664}$; Clorofila Total = Clorofila *a* + Clorofila *b*; Carotenóides = $(1000.A_{470} - 2,13.clorofila\ a - 97,64.clorofila\ b)/209$. Onde: A_{470} = absorbância a 470 nm; A_{664} = absorbância a 664 nm; A_{648} = absorbância a 648 nm. Os resultados foram apresentados em mg por grama de massa seca (mg g⁻¹ MS).

A quantificação dos teores de carboidratos totais solúveis foi realizada de acordo com método fenol-sulfúrico segundo Dubois et al. (1956). Este método quantifica carboidratos redutores e sacarose. Para isso, utilizou-se uma alíquota de 500 μL de extrato etanólico, 500 μL de fenol 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico. As leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Waltham, EUA), a 490 nm. Realizou-se uma curva de calibração utilizando glicose como padrão (0 a 40 $\mu\text{g mL}^{-1}$) e os resultados foram expressos em mg de glicose por grama de massa seca ($\text{mg glicose g}^{-1} \text{MS}$). O teor de sacarose baseou-se no método da antrona, onde os carboidratos redutores são degradados mediante a ação do hidróxido de potássio (Riazi et al., 1985). Para isso, utilizou-se alíquota de 250 μL de extrato etanólico com 100 μL de solução de KOH 5,4 N, por 10 minutos, a 100 °C. Posteriormente, acrescentou-se 3,0 mL de solução de antrona que permaneceu por 5 minutos, a 100 °C. Após o resfriamento, as amostras foram lidas a 620 nm em espectrofotômetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific, Waltham, EUA). Um padrão de sacarose foi usado para a curva de calibração (0 a 5 $\mu\text{g mL}^{-1}$). Os resultados da concentração de sacarose foram expressos em mg de sacarose por g de massa seca ($\text{mg sacarose g}^{-1} \text{MS}$). A estimativa do teor de carboidratos redutores em cada amostra foi obtida subtraindo os valores dos carboidratos solúveis totais dos valores obtidos para a sacarose (CHAVES FILHO ; STACCIARINI-SERAPHIN, 2001).

4.5 PRODUTIVIDADE

Os valores de produtividade foram calculados a partir do número de frutos por planta. Para avaliar a relação entre produtividade e a eficiência fotoquímica das plantas, foi feita a análise de correlação entre as variáveis produtividade e o índice de desempenho fotoquímico do fotossistema II (PI_{ABS}). PI_{ABS} foi o parâmetro utilizado por ter sido o mais representativo nesse estudo.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Utilizou-se um delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições no esquema fatorial (2 x 5) +1. O primeiro fator é o manejo de desponete dos ramos (com desponete e sem desponete), e o segundo as doses de paclobutrazol (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 g de ingrediente ativo por metro linear de copa) e a testemunha, foi considerada um tratamento adicional, cujas plantas não foram submetidas à poda, desponete e aplicação de paclobutrazol. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão. Para as características com diferenças significativas a 1 e 5% de probabilidade foi aplicado o teste de Tukey. O programa estatístico utilizado foi o Assistat versão 7.7 (Silva, 2014). Os parâmetros do Teste JIP, derivados da curva OJIP, que expressam a transferência de elétrons pelos fotossistemas em maiores detalhes, foram normalizados e plotados em um gráfico de radar, onde cada tratamento representa o desvio do comportamento em relação à testemunha, tomada como referência (igual à unidade).

5 RESULTADOS

5.1 SAFRA DE 2016

5.1.1 Pigmentos Cloroplastídicos

O índice de clorofila no tratamento com desponte dos ramos nas doses 0,5 e 2,0 g m⁻¹ linear de copa de PBZ foi significativamente ($P < 0,05$) maior do que o observado nos tratamentos sem desponte nas mesmas concentrações (Tabela 2).

Tabela 2. Índice de clorofila (Unid. SPAD) em folhas de mangueiras 'Ubá' submetidas a diferentes níveis de paclobutrazol e dois manejos de desponte (n=4).

	Índice de Clorofila				
	Doses de PBZ (g.m ⁻¹ linear da copa)				
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
Sem desponte	57.18 aA	52.33 bAB	55.06 aA	53.48 aAB	49.31 bB
Com desponte	54.2 aA	57.33 aA	52.6 aA	56.71 aA	55.71 aA

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

5.1.2 Cinética da fluorescência transiente OJIP

A atividade do aparato fotossintético pode ser observada pela presença da curva sigmoide característica do transiente OJIP da fluorescência da clorofila *a* (Figura 7 A-D). Pode-se observar as diferenças na fluorescência variável relativa (ΔV_t) nos tratamentos sem desponte (SD) e com desponte (CD). Em ambos os tratamentos houve redução da fluorescência variável (V_t), isto é, ΔV_t foi negativo nas fases O-J e J-I. Porém, nas plantas sem desponte e que receberam 1,0 g de PBZ m⁻¹ linear de copa (Tratamento SD1,0) houve uma diferença positiva na fase O-J (Figura 7 C).

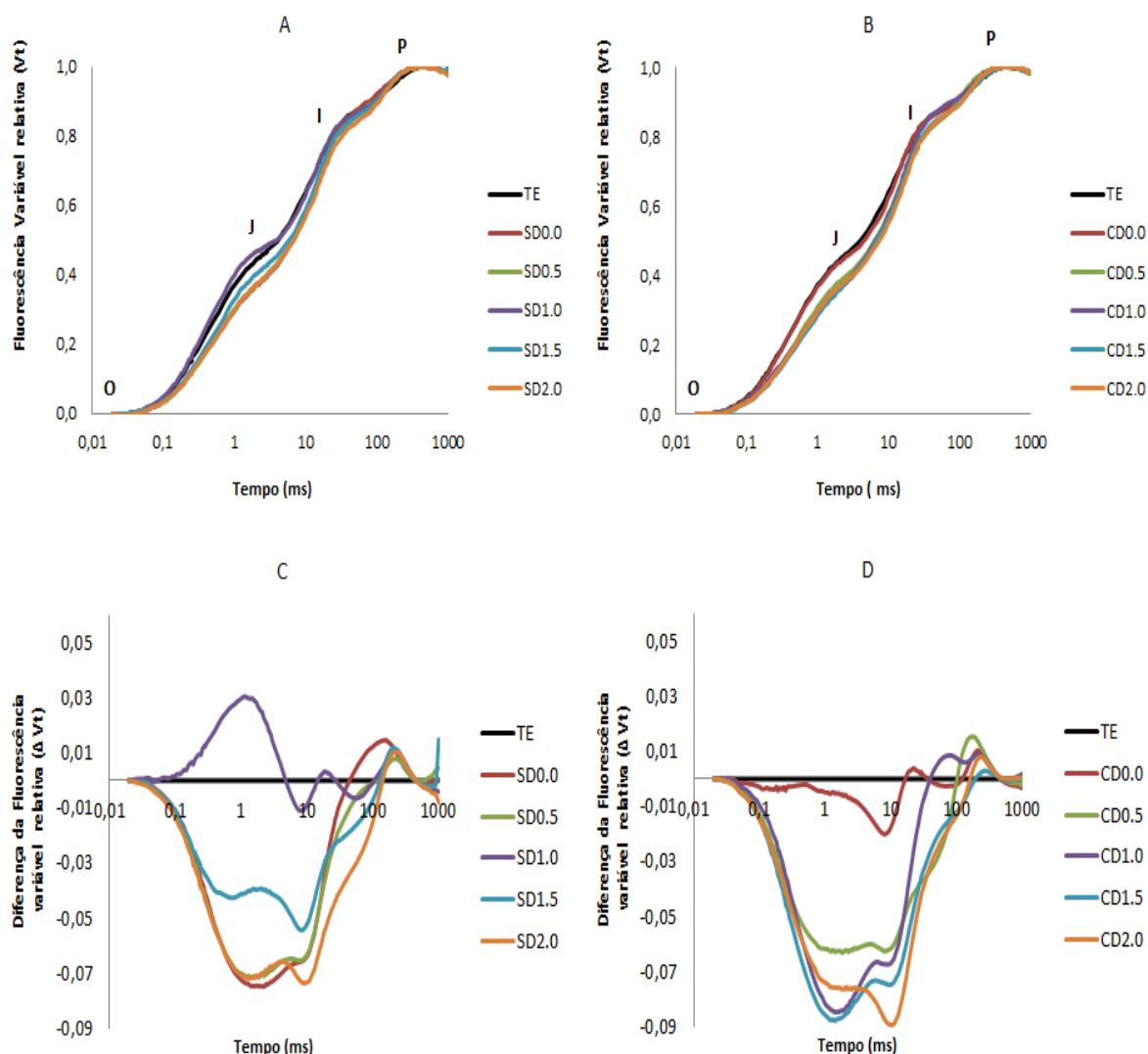


Figura 7. Fluorescência variável relativa [$V_{OP} = (F_t - F_0)/(F_M - F_0)$] (A e B) e diferença cinética normalizadas ($\Delta V_t = V_{t(\text{tratamento})} - V_{t(\text{testemunha})}$) (C e D) de folhas de mangueira 'Ubá' sem desponte (A e C) e com desponte (B e D) submetidas a diferentes níveis de PBZ (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). O tempo está representado em escala logarítmica (ms) ($n=4$).

A normalização da diferença cinética da fluorescência da clorofila *a*, na fase O-J (ΔV_{OJ}), permitiu a visualização das bandas K negativa na maioria dos tratamentos com e sem desponte dos ramos com as diferentes doses de PBZ (Figura 8). Somente o tratamento SD1.0 apresentou uma banda K positiva. Não se observou banda K nas plantas com desponte, não tratadas com PBZ (CD0.0), Figura 8 A-B. A presença da banda L positiva, (ΔV_{OJ}) ocorreu nas plantas com desponte, que

receberam a dose de $1,0 \text{ g m}^{-1}$ linear da copa do PBZ (CD1.0). Os demais tratamentos apresentaram banda L negativa (Figura 8 C-D).

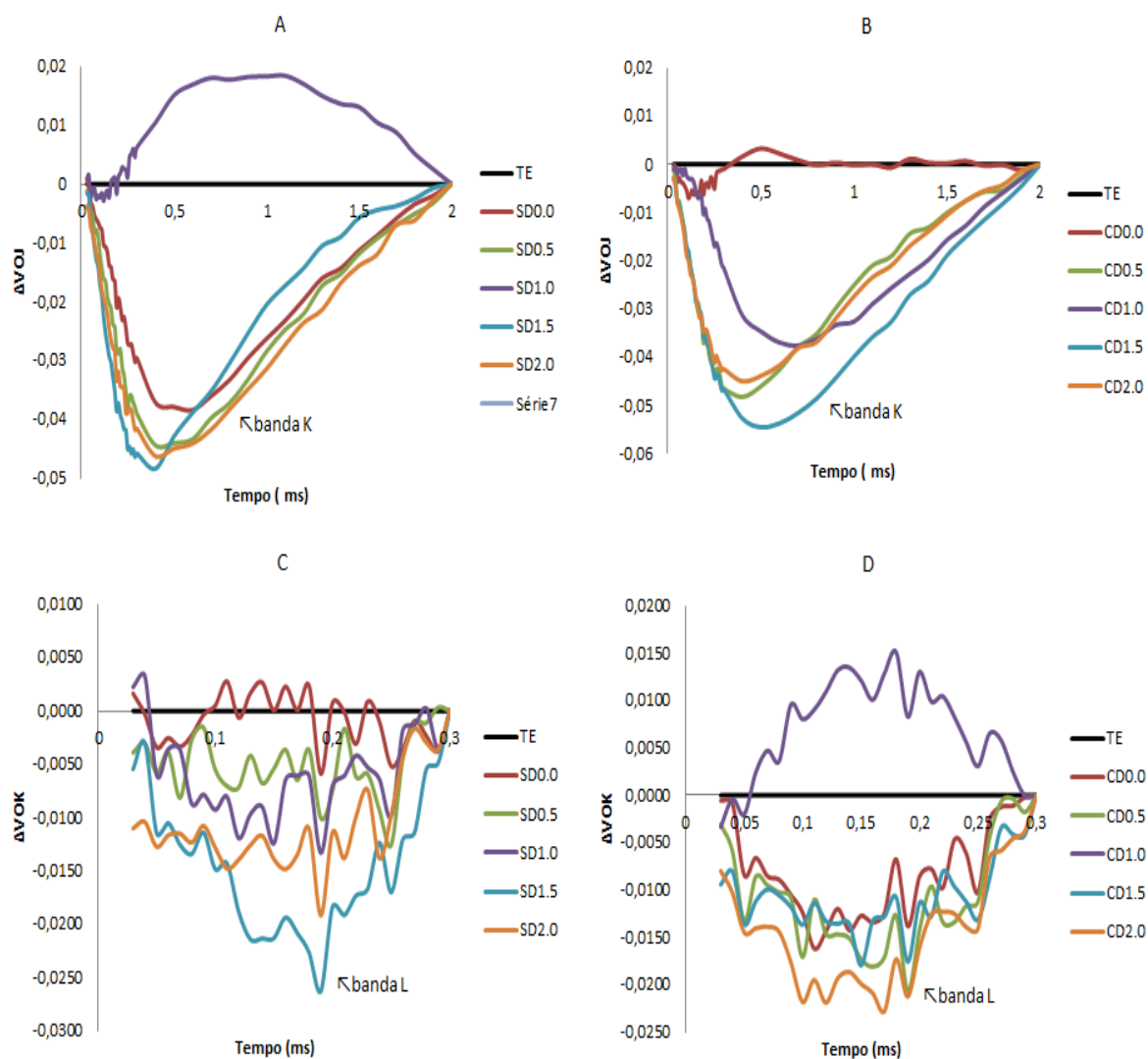


Figura 8. Banda K obtida pela diferença cinética normalizada entre os passos O e J [$\Delta V_{OJ} = V_{OJ(\text{tratamento})} - V_{OJ(\text{testemunha})}$] (A e B) e Banda L obtida pela diferença cinética normalizada entre os passos O e K [$\Delta V_{OK} = V_{OK(\text{tratamento})} - V_{OK(\text{testemunha})}$] (C e D) em folhas de mangueira 'Ubá' sem e com despolte submetidas a diferentes doses de PBZ (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). O tempo está representado em escala logarítmica (ms) (n=4).

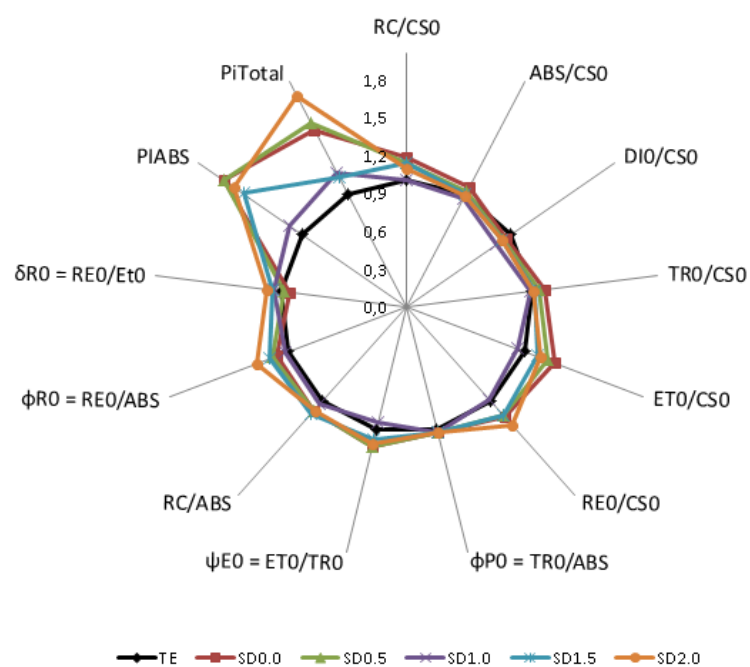
A partir das curvas de indução da cinética da fluorescência transiente OJIP mostradas nas figuras 7 e 8 foram obtidos parâmetros biofísicos quantificados pelo teste JIP: os fluxos fenomenológicos, rendimentos e desempenhos fotoquímicos e

permitiram identificar os desvios dos padrões de comportamento nos diferentes tratamentos (Figura 9).

Os índices de desempenho fotoquímico, PI_{TOTAL} e PI_{ABS} apresentaram aumento significativo ($P < 0,05$) em todos os tratamentos do estudo quando comparados com a testemunha. Contudo, aumentos mais expressivos foram observados nos tratamentos com desponete dos ramos (CD), destacando a dose 2.0 g de PBZ com os maiores valores para PI_{TOTAL} (134%) e PI_{ABS} (108%). O Rendimento quântico máximo das reações redox que ocorrem no FSII (ϕP_0) e a eficiência com que um elétron vindo dos carregadores de elétrons do intersistema é transferido para reduzir os aceptores finais de elétrons no lado acceptor do FSI (δR_0) não diferiram da testemunha em todos os tratamentos, porém observou-se alterações na eficiência em que um elétron pode mover-se além da Quinona A (ψE_0) e rendimento quântico para a redução dos aceptores finais de elétrons no lado acceptor do FSI (ϕR_0). Assim, nas plantas dos tratamentos SD0.5. e CD2.0 observou-se um aumento em ψE_0 de 15% e os maiores valores de ϕR_0 foram obtidos em CD2.0 e SD2.0. Também observou-se que nos tratamentos com desponete houve aumento nos valores de RC/ABS, principalmente, com a aplicação de 2.0 g m⁻¹ linear de copa de PBZ onde houve um aumento de 19%.

Observa-se ainda na Figura 4 que os fluxos fenomenológicos por seção transversal excitada (CS_0) calculados para absorção (ABS/CS_0), captura (TR_0/CS_0) e dissipação de energia (DI_0/CS_0) pouco variaram nos tratamentos quando comparados com a testemunha. No entanto, houve aumento do transporte de elétrons (ET_0/CS_0) tanto nos tratamentos SD quanto CD dos ramos e este efeito foi mais acentuado (cerca de 25%) nas plantas que receberam 0.0 e 2.0 g de PBZ. Os tratamentos que receberam 2.0 g de PBZ exibiram os maiores valores para fluxo de redução dos aceptores finais de elétrons, no lado acceptor de elétrons do FSI por CS (RE/CS_0) sendo 25% para SD 2.0 e 34% para CD 2.0.

A



B

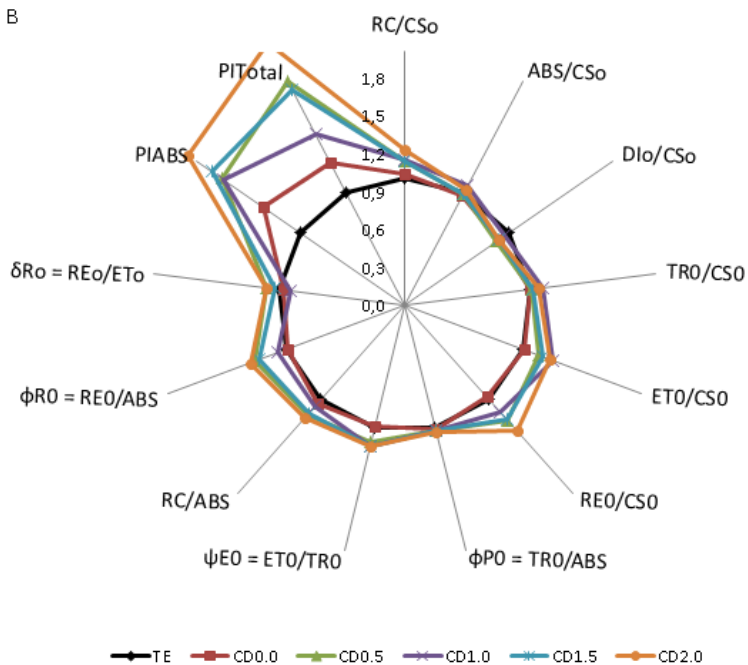


Figura 9. Parâmetros da fluorescência da clorofila *a* obtidos a partir do teste JIP em folhas de mangueira cv. Ubá sem desponete (A) e com desponete (B) submetidas às diferentes níveis de paclobutrazol (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). Os valores foram normalizados usando a testemunha como referência e igual à unidade (n=4).

5.1.3 Relação entre Produtividade e eficiência fotoquímica

A análise de correlação entre a produtividade e o PI_{ABS} revelou uma relação positiva significativa ($P < 0,05$) representado por 98% da variância indicando que o aumento do desempenho fotoquímico das plantas resulta em uma maior produtividade (Figura 10).

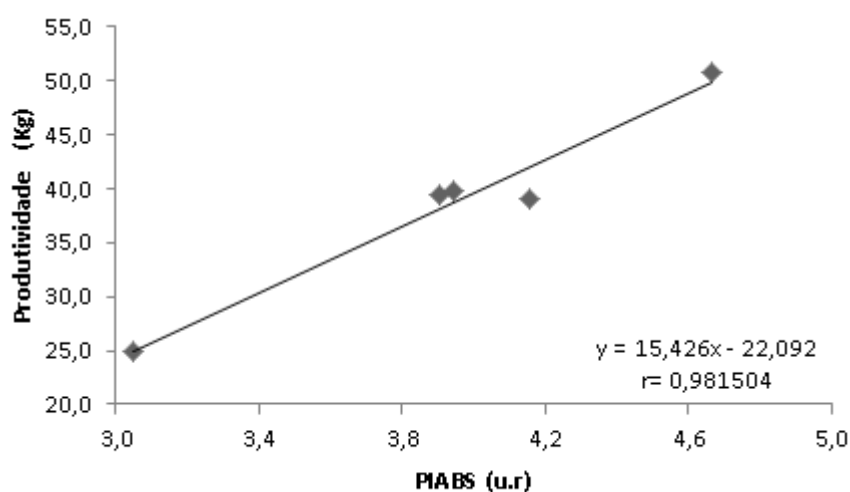


Figura 10. Relação entre o desempenho fotoquímico do fotossistema II (PI_{ABS}) e Produtividade em mangueira 'Ubá', submetidas a diferentes níveis de paclobutrazol (PBZ) em Colatina/ES, 2016.

A frutificação foi uniforme por toda a planta sem desponte dos ramos e as com desponte dos ramos apresentaram vários frutos por ramo (Figura 11). Na produtividade, não foi observada diferença estatística entre os tipos de manejo (com e sem desponte dos ramos).

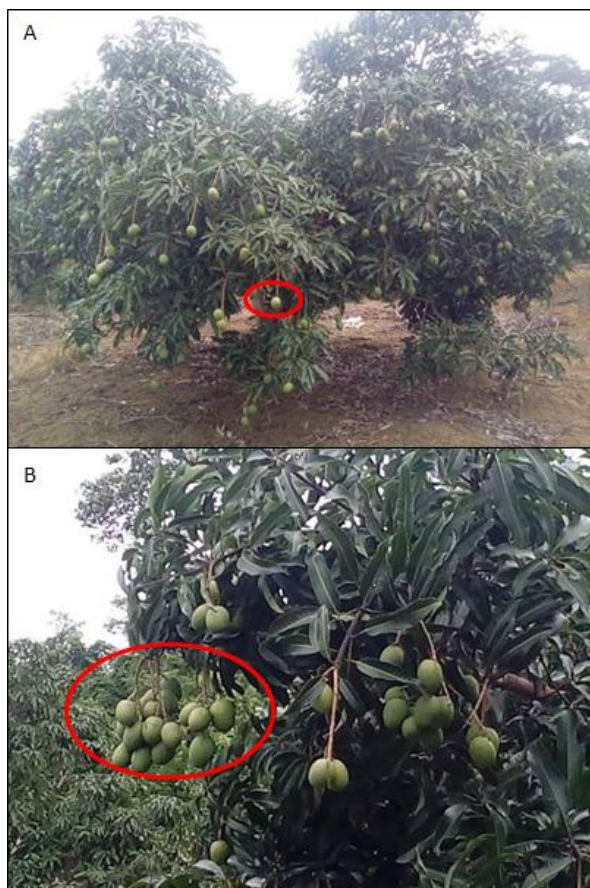


Figura 11. Produtividade em mangueira 'Ubá', submetidas ao desponte dos ramos: A, sem desponte; B, com desponte. Colatina (ES) – 2016.

5.2 SAFRA DE 2017

5.2.1 Pigmentos Cloroplastídicos

Não houve diferenças significativas nos índices de clorofila estimados com o clorofilômetro SPAD-502, mas os teores de clorofila *a*, total e carotenóides se ajustaram em função quadrática ($P < 0,05$) às doses de PBZ (figura 12-A-B-C). Observou-se uma tendência à redução nos teores de clorofila *a*, total e carotenóides com o aumento da concentração de PBZ, independente do manejo do desponte dos ramos.

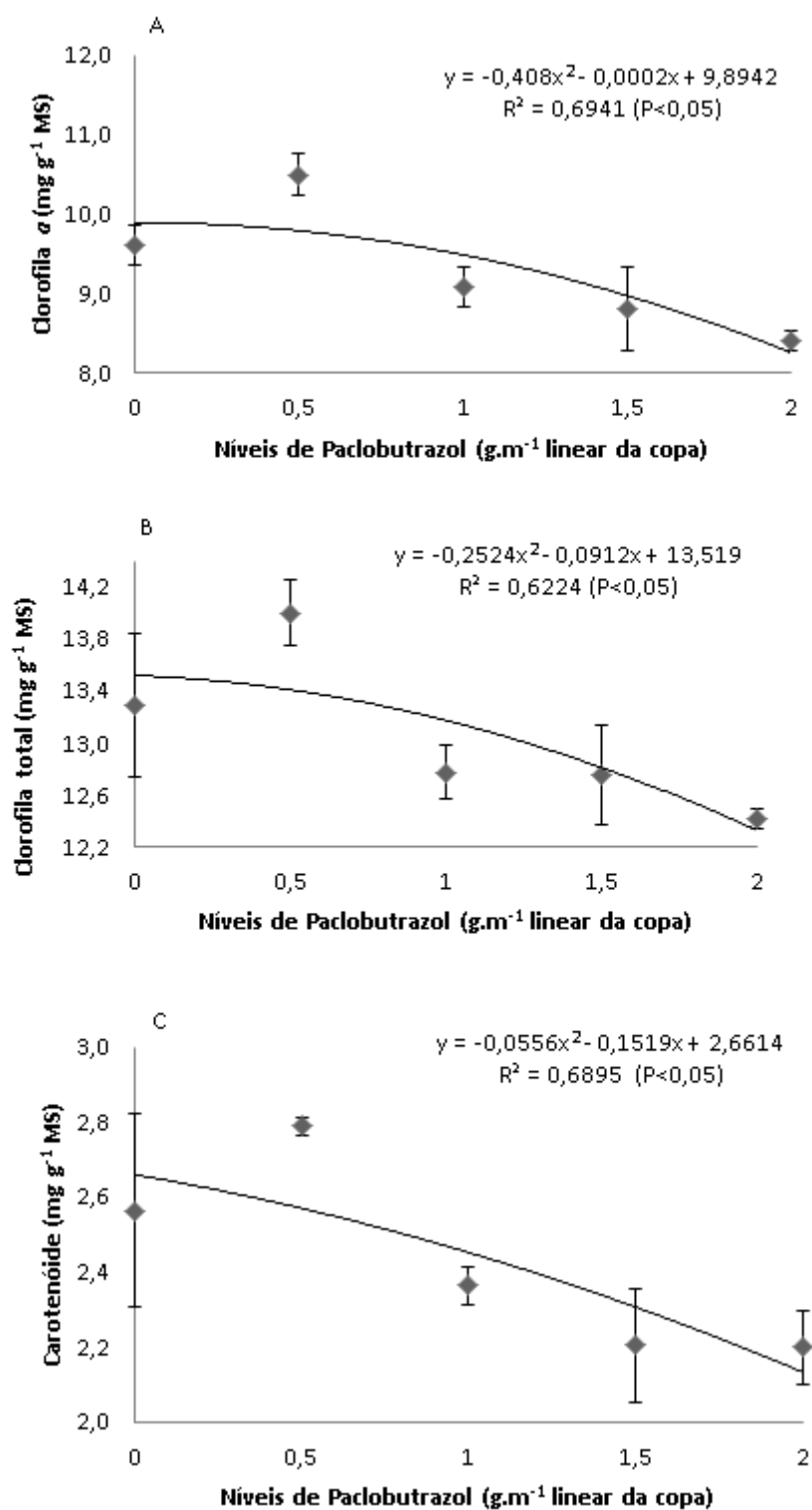


Figura 12. Efeito de doses de paclobutrazol sobre: A, clorofila *a*; B, clorofila total; C, carotenóides. As barras indicam o erro padrão da média de quatro repetições.

Os teores de clorofila *a*, *b* e clorofila total foram significativamente ($P<0,05$) maiores nas plantas SD0.5 (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl total) e carotenoides (carot), razão clorofila *a/b* (Chl *a/b*) e razão clorofila total/carotenóides (Chl/carot) em folhas de mangueira 'Ubá' submetidas a diferentes doses de paclobutrazol e desponte dos ramos.

Pigmentos (mg g ⁻¹ MS)	Tratamentos	Doses de PBZ (g.m ⁻¹ linear da copa)				
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
Chl <i>a</i>	Sem desponte	7.71 bB	13.16 aA	7.91 bB	6.83 bB	8.08 aB
	Com desponte	11.50 aA	10.36 bAB	10.26 aAB	10.78 aAB	8.75 aB
Chl <i>b</i>	Sem desponte	3.18 aB	6.18 aA	3.27 aB	3.58 aB	3.84 aB
	Com desponte	4.19 aA	3.79 bA	4.12 aA	4.32 aA	4.18 aA
Chl total	Sem desponte	10.89 bB	19.34 aA	11.17 bB	10.41 bB	11.92 aB
	Com desponte	15.69 aA	14.15 bA	14.38 aA	15.10 aA	12.92 aA
Car	Sem desponte	2.39 ^{ns}	3.07 ^{ns}	2.19 ^{ns}	1.83 ^{ns}	2.19 ^{ns}
	Com desponte	2.74 ^{ns}	2.51 ^{ns}	2.54 ^{ns}	2.58 ^{ns}	2.22 ^{ns}
Chl <i>a/b</i>	Sem desponte	2.42 ^{ns}	2.13 ^{ns}	2.49 ^{ns}	1.91 ^{ns}	2.11 ^{ns}
	Com desponte	2.75 ^{ns}	2.74 ^{ns}	2.50 ^{ns}	2.49 ^{ns}	2.12 ^{ns}
Chl/Car	Sem desponte	4.70 ^{ns}	6.30 ^{ns}	5.11 ^{ns}	5.67 ^{ns}	5.45 ^{ns}
	Com desponte	5.72 ^{ns}	5.64 ^{ns}	5.66 ^{ns}	5.89 ^{ns}	5.92 ^{ns}

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($P<0,05$). ^{ns} não significativo.

5.2.2 Teor de Carboidratos

Os teores de açúcares solúveis totais e açúcares redutores se ajustaram em função quadrática ($P < 0,05$) às doses de PBZ (figura 13-A e B). Observou-se uma tendência ao aumento nos teores de AST e de AR entre as concentrações de 1 a 1,5 g.m⁻¹ linear da copa do PBZ, independente do manejo do desponte dos ramos.

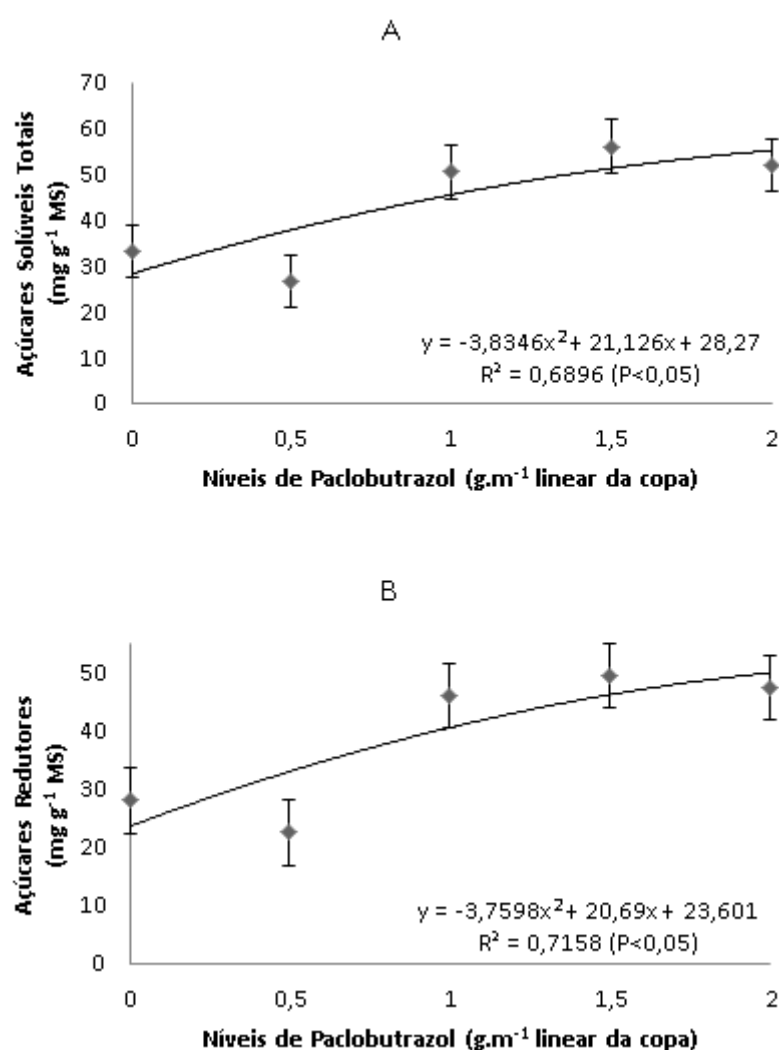


Figura 13. Efeito de doses de paclobutrazol sobre: A. Carboidratos totais solúveis; B. carboidratos redutores. As barras indicam o erro padrão da média de quatro repetições.

5.2.3 Cinética da fluorescência transiente OJIP

A Figura 14 apresenta a fluorescência variável relativa (V_t) das plantas no segundo ano deste trabalho (safra 2017). Todos os tratamentos do estudo apresentaram a curva sigmoide característica do transiente OJIP da fluorescência da clorofila *a* evidenciando atividade do aparato fotossintético (Figura 14). Tanto os tratamentos sem desponte (SD) quanto aqueles com desponte (CD) exibiram diferenças na fluorescência variável relativa (ΔV_t). A maioria dos tratamentos do estudo apresentaram ΔV_t negativo, entretanto, no tratamento SD1.0 a diferença foi positiva.

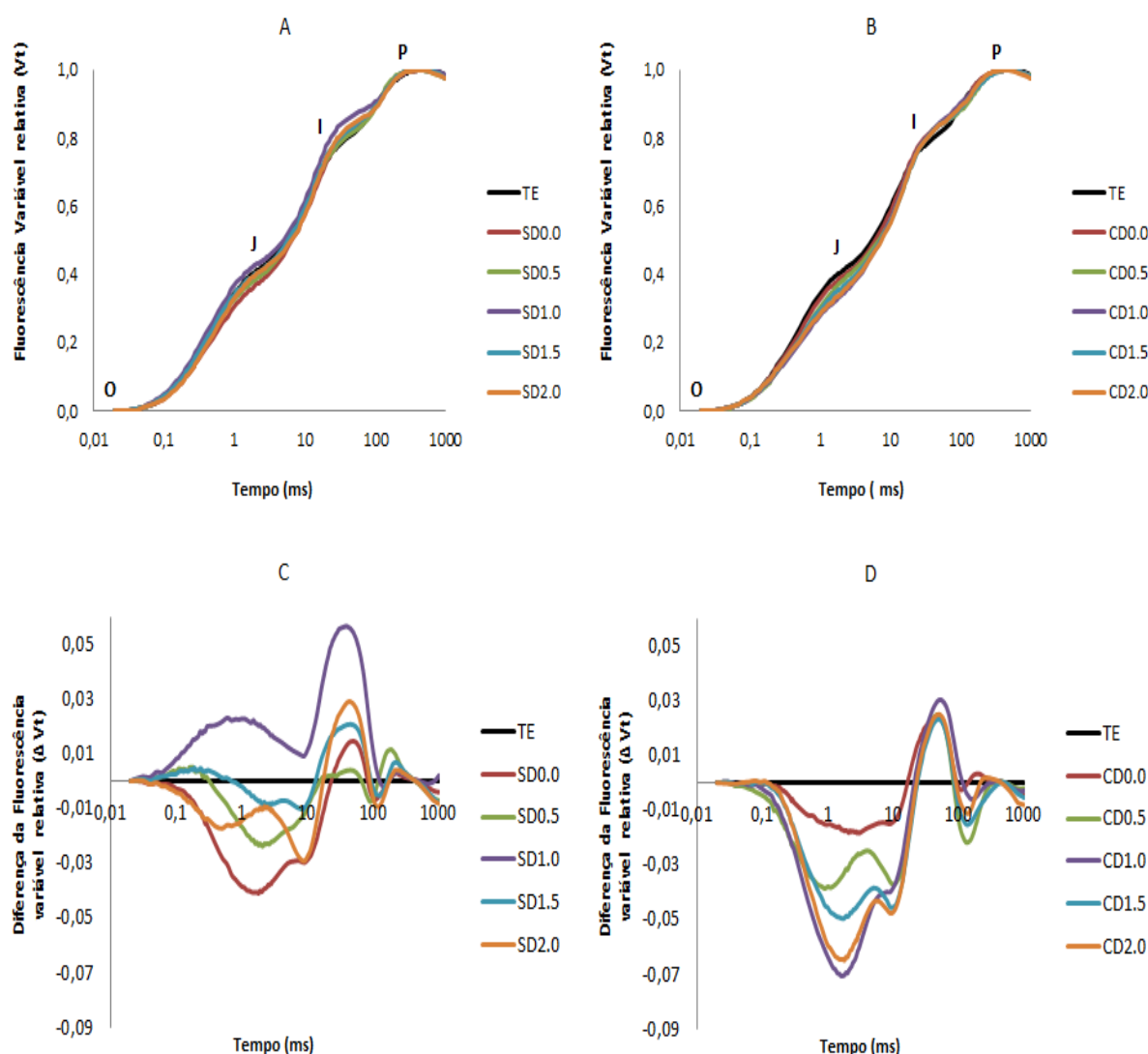


Figura 14. Fluorescência variável relativa [$V_{OP} = (F_t - F_0)/(F_M - F_0)$] (A e B) e diferença cinética normalizadas ($\Delta V_t = V_{t(\text{tratamento})} - V_{t(\text{testemunha})}$) (C e D) de folhas de mangueira 'Ubá' sem desponte (A e C) e com desponte (B e D) submetidas a diferentes níveis de PBZ (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). O tempo está representado em escala logarítmica (ms) (n=4)

Foi possível identificar as bandas K e L após a normalização da diferença cinética da fluorescência da clorofila *a* na fase O-J (ΔV_{OJ}) e na fase O-K (ΔV_{OK}). Nos tratamentos sem desponte que receberam 0,5; 1,0 e 1,5 g.m⁻¹ linear da copa do PBZ a banda K foi positiva enquanto que nas doses 0,0 e 2,0 g.m⁻¹ linear da copa do PBZ apresentaram bandas negativas (Figura 15A). Nas plantas com desponte, somente o tratamento CD 0.5 apresentou banda K negativa (Figura 15B). A banda L foi positiva na maioria dos tratamentos, exceto, nas plantas SD 2.0 (Figura 15 C e 15D).

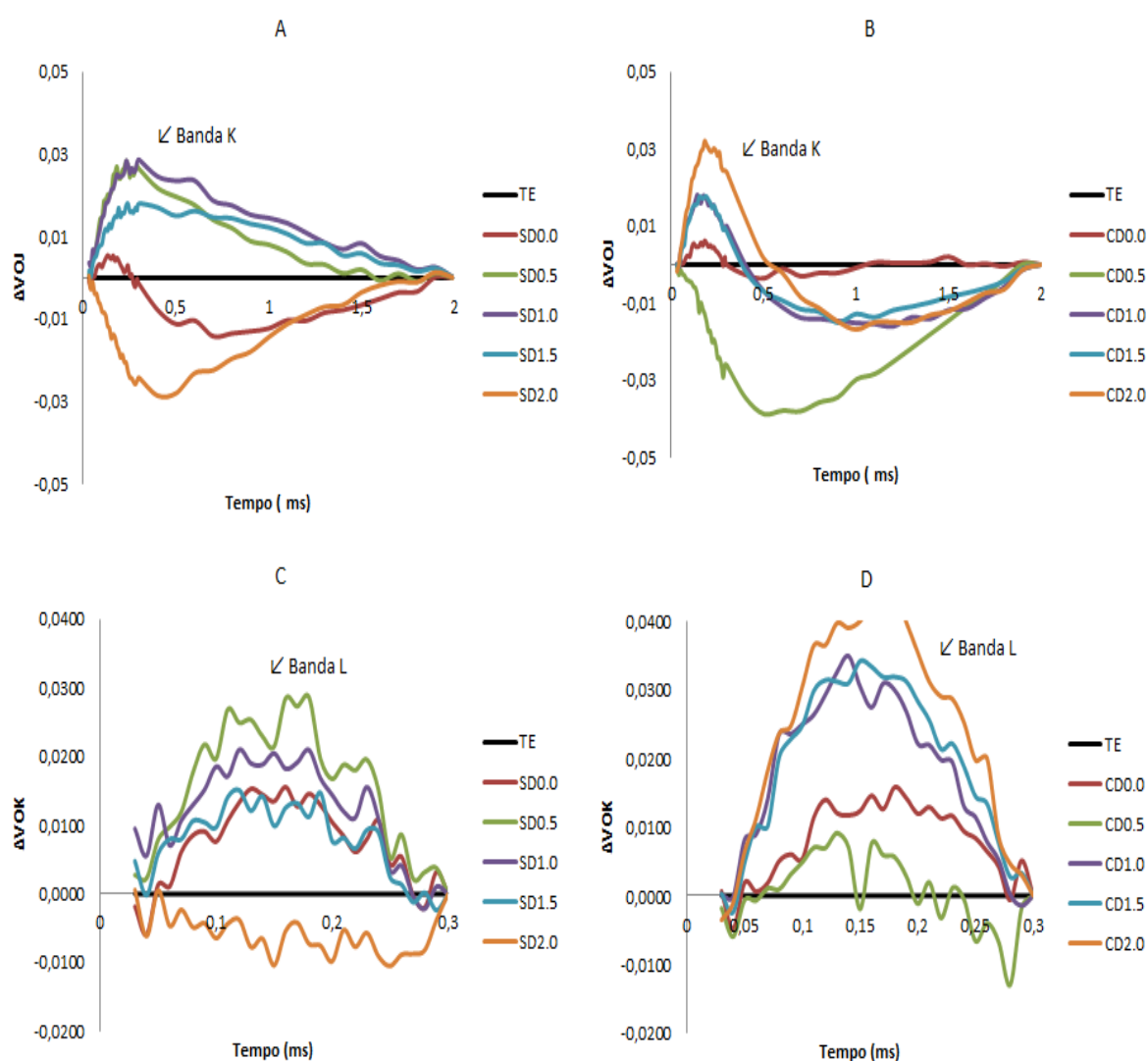


Figura 15. Banda K obtida pela diferença cinética normalizada entre os passos O e J [$\Delta V_{OJ} = V_{OJ}(\text{tratamento}) - V_{OJ}(\text{testemunha})$] (A e B) e Banda L obtida pela diferença cinética normalizada entre os passos O e K [$\Delta V_{OK} = V_{OK}(\text{tratamento}) - V_{OK}(\text{testemunha})$] (C e D) em folhas de mangueira 'Ubá' sem e com desponte submetidas a diferentes níveis de PBZ (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). O tempo está representado em escala logarítmica (ms) (n=4).

Nos tratamentos sem desponde dos ramos que receberam 1,0 e 1,5 g m⁻¹ linear da copa do PBZ houve uma redução significativa ($P < 0,05$) no índice de desempenho total, PI_{TOTAL} (18% e 40%, respectivamente), enquanto que o índice de desempenho do FSII, PI_{ABS} , do tratamento SD 2.0 foi 15% maior do que a testemunha (Figura 16A). O PI_{TOTAL} nas plantas com desponde não variou da testemunha (Figura 16B). Por outro lado, todas as concentrações de PBZ elevaram ($>15\%$) o valor do PI_{ABS} nos tratamentos com desponde, e essa elevação foi notória (28%) nas plantas com dosagem de 1,0 g m⁻¹ linear da copa do PBZ (Figura 16B).

O rendimento quântico máximo das reações redox que ocorrem no FSII (ϕP_0) não diferiu da testemunha em todos os tratamentos, porém eficiência com que um elétron vindo dos carregadores de elétrons do intersistema é transferido para reduzir os aceptores finais de elétrons no lado aceptor do FSI (δR_0) foi reduzida em 25% nas plantas SD1.0. Observou-se um aumento em ψE_0 de 15% no tratamento CD1.0 e ϕR_0 teve uma queda de 22% em SD 1.0, enquanto em CD1.0, 1.5 e 2.0 a redução foi de aproximadamente 15%.

Os valores observados nas razões RC/ABS (igual a densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos do FSII) e RC/ CS_0 (densidade de centros de reação ativos do FSII por seção transversal excitada) foram similares a testemunha em todos tratamentos.

Nota-se que os fluxos fenomenológicos por seção transversal excitada (CS_0) calculados para absorção (ABS/CS_0), captura (TR_0/CS_0) e dissipação de energia (DI_0/CS_0) pouco variaram nos tratamentos comparados a testemunha. Por outro lado, houve um aumento de 15% no transporte de elétrons (ET_0/CS_0) nas plantas CD 1.0 e CD 2.0. A redução dos aceptores finais no lado aceptor de elétrons do FSI (RE/CS_0) teve uma queda de 22% nas plantas SD1.0 enquanto que as plantas CD apresentaram valores semelhantes a testemunha.

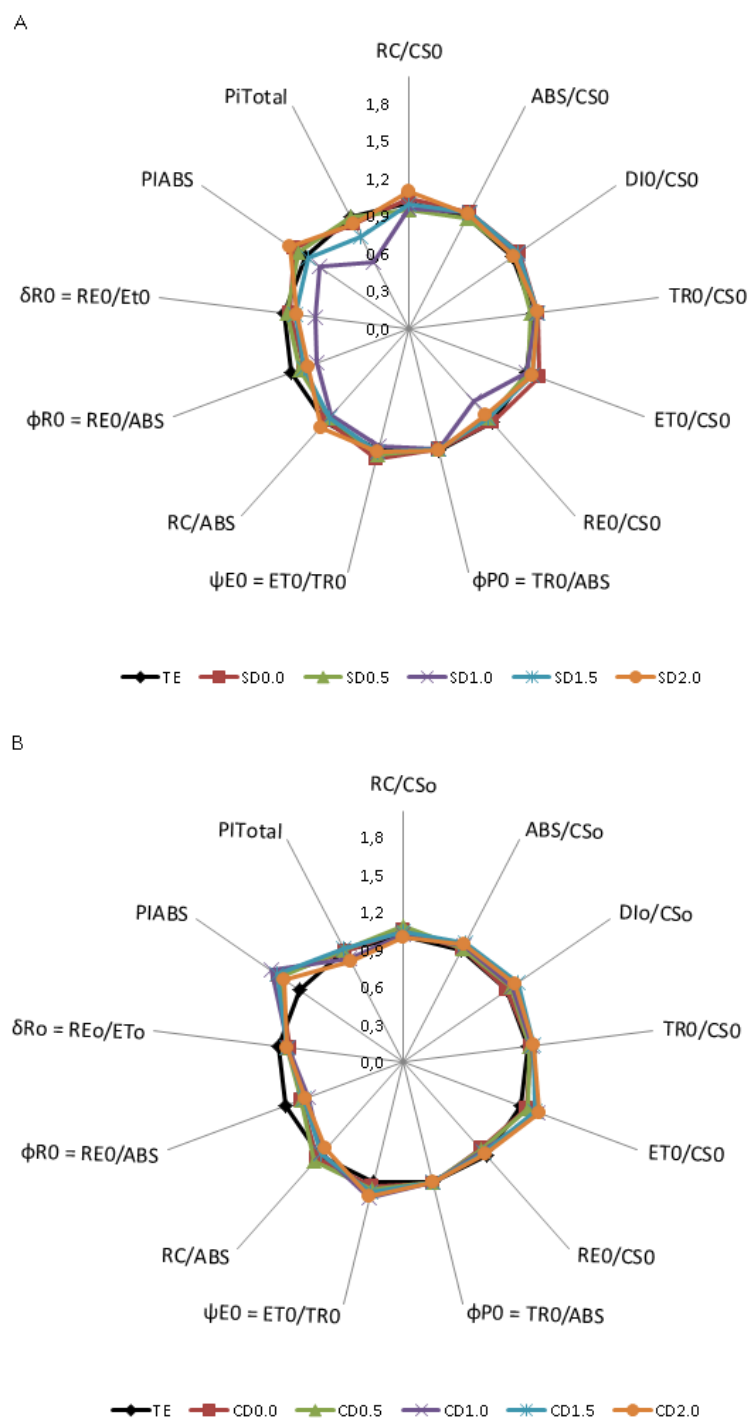


Figura 16. Parâmetros da fluorescência da clorofila *a* obtidos a partir do teste JIP em folhas de mangueira cv. Ubá sem desponte (A) e com desponte (B) submetidas a diferentes níveis de paclobutrazol (0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0). Os valores foram normalizados usando a testemunha como referência (n=4).

5.2.4 Relação entre Produtividade e eficiência fotoquímica

A análise de correlação entre a produtividade e o PI_{ABS} revelou uma relação positiva significativa ($P < 0,05$) representado por 73% da variância indicando que o aumento do desempenho fotoquímico das plantas resulta em uma maior produtividade (Figura 8).

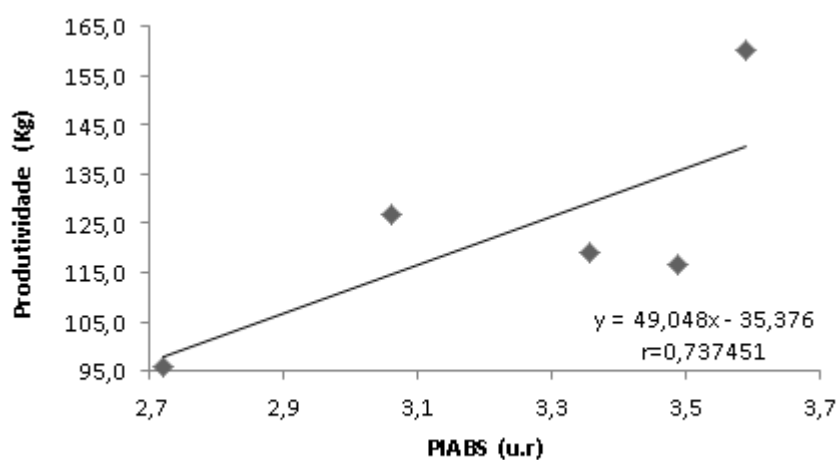


Figura 17. Relação entre o desempenho fotoquímico do fotossistema II (PI_{ABS}) e Produtividade em mangueira 'Ubá', submetidas a diferentes níveis de paclobutrazol (PBZ) em Colatina/ES, 2017.

6 DISCUSSAO

A eficiência na resposta do PBZ depende da pluviosidade após a aplicação uma vez que a absorção do produto decorre da umidade do solo, por ser absorvido pelas raízes e translocado via xilema para as folhas e brotos (BENETT et al., 2014). Historicamente, o estado do ES possui duas estações bem determinadas, um período quente e chuvoso (novembro a março) e outro, frio e seco (abril a outubro) (SILVA et al., 2010). Porém, durante o período do estudo, houve uma variação no padrão climático onde se observou uma seca prolongada a partir do ano de 2014. Na primeira etapa do estudo, ocorrida em 2016, a chuva se concentrou em novembro, 7 meses após a aplicação do PBZ. Na segunda etapa do estudo, ocorrida em 2017, houve precipitação logo após a aplicação do PBZ, realizada em maio.

Os resultados obtidos demonstraram que as diferentes doses de PBZ combinados com o manejo do desponete dos ramos alteraram as respostas da fluorescência da clorofila *a* em folhas de mangueira 'Ubá'. Todos os tratamentos apresentaram as fases OJIP do transiente da fluorescência da clorofila *a* sugerindo atividade do aparato fotossintético nas plantas (YUSUF et al., 2010).

As diferenças na fluorescência variável relativa (ΔV_t) revelaram bandas entre as etapas OJIP. ΔV_{OJ} representado pela Banda K reflete a atividade do complexo de evolução do oxigênio (CEO) e o tamanho funcional do complexo coletor de luz do FSII (YUSUF et al., 2010). Bandas K positivas foram visualizadas na safra de 2016 somente no tratamento (SD1.0) enquanto que na safra de 2017, vários tratamentos a apresentaram tanto nos tratamentos com desponete quanto nos tratamentos sem desponete (SD0.5, SD1.0, SD1.5, CD0.0, CD1.0, CD1.5 e CD2.0). Esses resultados indicam um desajuste na transferência de elétrons do CEO para o centro de reação no segundo ano da pesquisa.

A banda L (ΔV_{OK}) está associada à conectividade energética das unidades do FSII (YUSUF et al., 2010). Quando positiva, a conectividade energética do sistema é

baixa, e negativa, a conectividade é alta levando a um maior aproveitamento da energia de excitação e maior estabilidade do sistema (STRASSER et al., 2004). Na safra de 2016, apenas no tratamento CD1.0 foram visualizadas curvas positivas, quanto a 2017 a maioria dos tratamentos também foram identificadas bandas positivas, exceto no tratamento SD2.0.

A presença das bandas K e L positivas na maioria dos tratamentos no segundo ano da pesquisa indicam alterações nas estruturas da membrana do tilacóide prejudicando a transferência de energia assim, afetando negativamente o rendimento quântico para a redução dos aceptores finais de elétrons no lado acceptor do FSI (ϕR_0), logo refletiu no índice de desempenho total (PI_{TOTAL}), uma vez que, na safra de 2016 todos os tratamentos apresentaram os valores do PI_{TOTAL} superiores à testemunha e alguns se destacaram com valores acima de 100% e na safra de 2017; PI_{TOTAL} na maioria dos tratamentos não variou da testemunha. Esta resposta pode ser atribuída à acumulação do composto no segundo ano da pesquisa, principalmente nos tratamentos que receberam as maiores doses. Isto porque, o PBZ é um agroquímico com baixa mobilidade (HAMPTON, 1988), persistente por concentrar resíduos no solo (SHARMA; AWASTHI, 2005).

PI_{TOTAL} é o produto entre o índice de desempenho do FSII (PI_{ABS}) e a eficiência com que um elétron vindo dos carregadores de elétrons do interssistema é transferido para reduzir os aceptores finais de elétrons no lado acceptor do FSI fotossistema I (δR_0) (CHEN et al., 2011). PI_{TOTAL} e PI_{ABS} são parâmetros que descrevem o comportamento geral da etapa fotoquímica da fotossíntese, portanto são indicadores de eficiência fotossintética de plantas.

Tanto o PBZ quanto as combinações entre PBZ e desponse dos ramos provocaram aumento da função do FS II verificado pelos valores do PI_{ABS} . Em 2016, todos os tratamentos obtiveram valores do PI_{ABS} superiores à testemunha e em 2017 a maioria dos tratamentos apresentaram esse resultado, exceto os tratamentos SD1.0 e SD1.5 em que houve uma redução nos valores. Em trabalho realizado com duas espécies arbóreas, Percival e Albalushi (2007) encontram aumento no PI_{ABS} após a aplicação do PBZ corroborando com os resultados obtidos nesse estudo.

Pesquisas têm descrito melhora no ϕP_0 (F_v/F_m) em plantas tratadas com PBZ (BANINASAB, 2009; PERCIVAL; NOVISS, 2008; DWIVEDI ; KUMAR, 2016), porém não foram observadas mudanças nesse parâmetro no presente trabalho. Cabe ressaltar, entretanto, aumento na eficiência em que um elétron pode mover-se para além da Quinona A (ψE_0) e no fluxo de transporte de elétrons (ET_0/CS_0) nos tratamentos CD2.0 e CD1.0 para 2016 e 2017, respectivamente. Portanto, pode-se sugerir que o PI_{ABS} foi influenciado pelo (ψE_0), uma vez que o PI_{ABS} é uma expressão multi-paramétrica que combina três parâmetros: Rendimento quântico máximo das reações redox que ocorrem no FSII (ϕP_0), eficiência em que um elétron pode mover-se para além da Quinona A (ψE_0) e a densidade de centros de reação fotossinteticamente ativos do FSII (RC/ABS) (CHEN et al., 2011). O aumento no fluxo de transporte de elétrons (ET_0/CS_0) sugere aumento da ativação dos complexos de centros de reação (ZHANG, et al., 2015). Com isso, pode-se sugerir que o paclobutrazol associado ao desponte dos ramos contribuiu com o acréscimo de energia para o transporte de elétrons. Em contraste com estes resultados, a aplicação de epoxiconazol, um fungicida triazol também inibidor da biossíntese da giberelina, prejudicou o transporte de elétrons na membrana do tilacóide de *Galium aparine* L. (BENTON; COBB, 1997).

O incremento no PI_{ABS} observado no estudo foi mais acentuado nas plantas com desponte dos ramos às diferentes doses de PBZ destacando as doses 2.0 e 1.0 g m⁻¹ linear da copa do PBZ para 2016 e 2017, respectivamente. Além dos efeitos benéficos já mencionados do PBZ, o desponte dos ramos altera as características fisiológicas das plantas devido às mudanças hormonais. Promove a supressão da dominância apical com a redução dos níveis de auxina e ABA (TAIZ; ZEIGER, 2012), logo induz a emissão de novos ramos laterais (DAVENPORT, 2006). Nesta investigação o desponte dos ramos provavelmente proporcionou maior ativação dos centros de reação possibilitando maior absorção de energia contribuindo para um aumento da capacidade fotoquímica.

Os maiores teores de clorofilas *a*, *b* e total foram observados no tratamento sem desponte que receberam 0,5 g m⁻¹ linear da copa do PBZ na safra de 2017. Nas

doses mais elevadas do fitorregulador observou-se uma tendência em redução dos teores de clorofila *a*, total e carotenóides. Porém, na literatura é relatado aumento nos teores de clorofilas após o tratamento com PBZ (JALEEL et al., 2007; PERCIVAL; NOVISS, 2008). Esse efeito pode ser atribuído à regulação da biossíntese de citocininas pelo PBZ (UPRETI et al., 2013), portanto elevando a biossíntese e/ou prevenindo a degradação de clorofila.

Os teores de açúcares solúveis totais e redutores aumentaram em função das doses de PBZ, com os dados ajustando-se ao modelo quadrático ($P < 0,05$) na safra de 2017. De maneira similar, em estudo com mangueira 'Amparali', houve incremento dos teores de açúcares totais e redutores em resposta ao tratamento com PBZ durante a floração (SAXENA et al., 2014). Segundo Devenport (2007), os carboidratos acumulados nas folhas podem fornecer a energia necessária para o desenvolvimento reprodutivo como para a formação de inflorescências. Entretanto, cabe salientar nesse estudo, que provavelmente o PBZ não só estimulou o acúmulo de açúcares pela inibição do crescimento vegetativo, mas possivelmente contribuiu para uma maior atividade metabólica para a síntese de carboidratos devido ao maior aproveitamento da energia absorvida pelas clorofilas para a realização de processos fotossintéticos (PI_{ABS}) como a produção de ATP e NADPH.

O estresse hídrico pode desencadear a formação de radicais livres na cadeia transportadora de elétrons prejudicando a capacidade fotoquímica das plantas. O período reprodutivo também gera radicais livres, o que pode prejudicar o florescimento pela oxidação e modificações de compostos celulares e moleculares (SAXENA et al. 2014). Soma-se a isto a seca prolongada que ocorreu entre os anos 2014 e 2016, a baixa precipitação durante a condução do experimento (a precipitação anual em 2016 e 2017 foi de 778 e 327 mm ano⁻¹, respectivamente). Estes fatores poderiam ter afetado o desempenho fotoquímico das mangueiras, contudo, nessa investigação as plantas apresentaram alta eficiência fotoquímica identificada pelos altos valores do PI_{ABS} naquelas tratadas apenas com PBZ (sem desponete dos ramos) quanto nas combinações desponete dos ramos e doses de PBZ (com desponete). Vale ressaltar que o rendimento máximo das reações

redox que ocorrem no FSII ($\phi P_0 = F_v/F_M$), parâmetro muito usado como indicador de estresse hídrico, não sofreu variações significativas em nenhum dos tratamentos.

O PBZ tem sido relacionado à proteção contra o estresse oxidativo em plantas por aumentar o potencial antioxidante (FLETCHER et al., 2000; JALEEL et al., 2007; PERCIVAL; ALBALUSHI, 2007). Em trabalho realizado com mangueira, Saxena et al. (2014) demonstraram os efeitos benéficos do PBZ na indução floral pela elevação da atividade de enzimas antioxidantes, catalase e peroxidase, além da concomitantemente inibição da biossíntese da giberelina. Assim, pode-se inferir que o PBZ interferiu diretamente nos mecanismos de defesa e na manutenção da integridade dos fotossistemas, visto que as plantas apresentaram alta eficiência fotoquímica.

Mudanças nos sinais da fluorescência quantificadas pelo PI_{ABS} pode ser uma ferramenta útil para indicar genótipos com alto rendimento (ZHANG et al., 2015). No presente estudo, houve uma relação positiva entre produtividade e PI_{ABS} ($P < 0,05$). Esses resultados estão em concordância com Zelitch (1982) que sugeriram a produtividade ser dependente da energia fotoquímica para a biossíntese de fotoassimilados e para a distribuição destes produtos na planta. Também estão de acordo com a hipótese deste estudo, onde a eficiência fotossintética tem relação direta com a produtividade.

Observou-se que as doses de PBZ que proporcionaram os maiores desempenhos fotoquímicos do fotossistema II foram 2,0 e 1,0 g.m⁻¹ linear de PBZ no primeiro e segundo anos, respectivamente. Esses resultados apontam fortemente para o fato de que as condições climáticas alteram a sensibilidade da planta ao PBZ (ALBUQUERQUE et al., 2002). A redução na dose, no segundo ano de estudo, reforça a baixa mobilidade e acúmulo de resíduos do produto no solo da safra anterior e sua interferência na safra subsequente (HAMPTON, 1988; SHARMA; AWASTHI, 2005). Mouco e Albuquerque (2005) também verificaram redução de 2,0 para 1,0 g.m⁻¹ linear de PBZ de uma safra para outra no florescimento de mangueiras 'Tommy Atkins' corroborando com os resultados do presente estudo.

7 CONCLUSÕES

No presente estudo foram confirmadas ambas as hipóteses levantadas inicialmente. O tratamento com paclobutrazol aumentou o índice de desempenho fotoquímico do fotossistema II. O efeito do paclobutrazol foi mais proeminente quando combinado ao desbaste dos ramos. O maior aproveitamento da energia fotoquímica em resposta ao tratamento com paclobutrazol possivelmente contribuiu para a maior eficiência no metabolismo de carboidratos resultando em maior produtividade.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.A.S.; MEDINA, V.D.; MOUCO, M.A.C. Indução floral. In: GENU, P.J.C.; PINTO, C.A.Q. (ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002, v.13, p.259-276.

ALBUQUERQUE, J.A.S.; MOUCO, M.A.C. **Manga: indução floral**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. 32p.

BANINASAB, B. Amelioration of chilling stress by paclobutrazol in watermelon seedlings. **Scientia horticulturae**, Amsterdam, v.121, n.2, p.144-148, 2009.

BENETT, K.S.S.; FARIA JUNIOR, M.J.A.; BENETT, C.G.S.; SELEGUINI, A.; LEMOS, O.L. Utilização de paclobutrazol na produção de mudas de tomateiro. **Comunicata Scientiae**, Bom. Jesus, v. 5, n.2, p.164-169, 2014.

BENTON, J. M.; COBB, A. H. The modification of phytosterol profiles and in vitro photosynthetic electron transport of *Galium aparine* L.(cleavers) treated with the fungicide, epoxiconazole. **Plant growth regulation**, v. 22, n. 2, p. 93-100, 1997.

BENEVIDES, S.D.; RAMOS, A.M.; STRINGHETA, P.C.; CASTRO, V.C. Qualidade da manga e polpa da manga Ubá. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.3, p.571-578, 2008.

CHAVES FILHO, J.T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 199-204, 2001.

CHEN, I.C.; HILL, J.K., OHLEMÜLLER, R., ROY, D.B.; THOMAS, C.D. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. **Science**, v. 333, n. 6045, p.1024–1026, 2011.

CHEN, S.; YANG, J.; ZHANG, M.; STRASSER, R. J.; QIANG, S. Classification and characteristics of heat tolerance in *Ageratina adenophora* populations using fast chlorophyll a fluorescence rise OJIP. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 126-140, 2016.

CUNHA, G.A.P. da. Exigências Edafoclimáticas. In: MATOS, A. P. **Manga. Produção: aspectos técnicos**. Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz Almas, BA). – Brasília: Embrapa. Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 63p.; (Frutas do Brasil; 4).

DAVENPORT, T. L. Pruning Strategies to Maximize Tropical Mango Production from the Time of Planting to Restoration of Old Orchards. **Hortscience**, v.41 (3), p.544-548, 2006.

DAVENPORT, T. L. Reproductive physiology of mango. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v.19, n.4, p.363-376, 2007.

DONADIO, L. C. (Org.). **Variedades brasileiras de manga**. São Paulo: UNESP, 1996. 74 p.

DUBOIS, M.; GILLES, K.; HAMILTON, J.; REBERS, P.; SMITH, F.; 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v.28, n.3, p.350-356, 1956.

DWIVEDI, S.K.; KUMAR, S. Effect of paclobutrazol on photosynthesis and expression of pyrroline-5-carboxylatesynthase in contrasting wheat genotypes under water deficit stress condition. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.22, n.3, p.425-425, 2016.

FAO. **Produção e exportação**: Citação de base de dados. Disponível em: <<http://apps.fao.org/>>. Acesso em: 02 jan. 2018.

FARIA-SILVA, L.; GALLON C.Z.; PURGATTO, E.; SILVA, D. M. Photochemical metabolism and fruit quality of Ubá mango tree exposed to combined light and heat stress in the field. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.39, n.10, p.238, 2017.

FLETCHER, R.A.; GILLEY, A.; SANKHLA, N.; DAVIS, T.D. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. **Horticultural Reviews**, New York, v.24, p.55-138, 2000.

GOVINDJEE; KERN, J.; MESSINGER, J.; WHITMARSH, J. **Photosystem II** in Encyclopedia of Life Sciences (ELS), John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 2010.

HAMPTON, J. G. Effect of growth retardant soil residues on succeeding agricultural crops. **New Zealand journal of experimental agriculture**, v.16, n.2, p.167-172, 1988.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal – PAM**. Sistema IBGE de Recuperação Automática de dados - SIDRA, IBGE-PAM, 2015. Disponível em: <<http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural). **Polo de Manga para a Indústria no Estado do Espírito Santo**. Documento nº 181. 3 ed. 2009.

INMET. Instituto Nacional de meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acesso em: 02 jan. 2018.

JALEEL, C.A.; GOPI, R.; MANIVANNAN, P.; PANNEERSELVAM, R. Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. to paclobutrazol treatment under salinity. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 29, n.3, p.205-209, 2007.

KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M., ZIVCAK, M.; SAMBORSKA, I. A.; LADLE, R. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 38, n. 4, p. 102, 2016.

LEMOES, L. M. C. **Controle do amadurecimento e de antracnose na póscolheita da manga ‘Ubá’**. 2014. 133p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

LICHTENTHALER, H.K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: Wrolstad, R.E.; ACREE, T.E.; DECKER, E.A.; PENNER, M.H.; REID, D.S.; SCHWARTZ, S.J.; SHOEMAKER, C.F.; SMITH, D.M.; SPORNS, P. (Eds.). **Current protocols in food analytical chemistry**. Hoboken: John Wiley, New York,. p.1- 8, 2001. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0471142913.faf0403s01/abstract> >. Acesso em: 16 jul. 2017.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v.51, p.659-668, 2000.

MILFONT, M.L.; ANTONINO, A.C.D.; MARTINS, J.M.F.; NETTO, A.M.; GOUVEIA, E.R. & CORREA, M.M. Transporte do paclobutrazol em colunas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, 2008.

MOUCO, M.C.; ALBUQUERQUE, J.A.S. Efeito do paclobutrazol em duas épocas de produção da mangueira. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n.2, p. 219-225, 2005.

NAVARRO, A.; SANCHEZ-BLANCO, M.A. & BAÑÓN, S. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performance of *Arbutus unedo* seedlings. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.111, p.133-139, 2007.

OLIVEIRA, G. P. **Indução floral da mangueira 'Ubá' na Região da Zona da Mata de Minas Gerais**. 2015. 65p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

OLIVEIRA, G.P.; SIQUEIRA, D.L.; SALOMÃO, L.C.C.; CECON, P.R.; MACHADO, D.L.M. Paclobutrazol and branch tip pruning on the flowering induction and quality of mango tree fruits. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia v.47, n.1, p.962-969, 2013.

OLIVEIRA, G.P.; SIQUEIRA, D.L.; SILVA, D.F.P.; MATIAS, R.G.P.; SALOMÃO, L.C.C.S. Caracterização de acessos de mangueira 'Ubá' na Zona da Mata Mineira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.6, p.962-969, 2013.

OLIVEIRA, M.B; OLIVEIRA, M.B.; PEREIRA, M.C.T.; MIZOBUTSI, G.P.; MAIA, V. M.; SILVA, J.F.; OLIVEIRA, J.A.A.; COSTA, I.J.S.; NIETSCHE, S.; SANTOS, E.F.; MOUCO, M.A.C. Paclobutrazol and tip pruning in the management of 'Palmer' mango trees in the semi-arid region of Brazil. **Acta Horticulture**, v. 1075, n.1, p.149-156, 2015.

OLIVEIRA, G. P.; SIQUEIRA, D. L. D.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; MACHADO, D. L. M. Paclobutrazol and branch tip pruning on the flowering induction

and quality of mango tree fruits. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 7-14, 2017.

PERCIVAL. G.C.; ALBALUSHI, A.M.S. Paclobutrazol-induced drought tolerance in containerized English and evergreen oak. **Arboriculture and Urban Forestry**. v. 33. n.6. p.397, 2007.

PERCIVAL. G.C.; NOVISS, K. Triazole induced drought tolerance in horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*). **Tree Physiology**. v. 28, n.11. p.1685-1692, 2008.

RAMÍREZ, F.; DAVENPORT, T. L. Mango (*Mangifera indica* L.) flowering physiology. **Scientia Horticulturae**, v. 126, n.2, p.65-72, 2010.

SANTOS-VILLALOBOS, S.; FOLTER, S.; DELANO-FRIER, J.; GÓMEZ-LIM, M.; GUZMÁN-ORTIZ, D. Growth Promotion and Flowering Induction in Mango (*Mangifera indica* L. cv “Ataulfo”) Trees by Burkholderia and Rhizobium Inoculation: Morphometric, Biochemical, and Molecular Events. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v.32, p.615- 627, 2013.

SAXENA, P.; SINGH, V.K.; PATHAK, N. Antioxidative enzymes and biochemical changes in paclobutrazol induced flowering in mango (*M. indica*) cultivars. **Journal of Environmental Biology**, v. 35, n.6, p.1061-1066, 2014.

SHARMA, D.; AWASTHI, M.D. Uptake of soil applied paclobutrazol in mango (*Mangifera indica* L.) and its persistence in fruit and soil. **Chemosphere**, v. 60, n.2, p. 164-169, 2005.

SILVA, F.A.S. ASSISTAT: Versão 7.7 beta. DEAG-CTRN-UFCG – Atualizado em 01 e abril de 2014. Disponível em: Acesso em: 20 out. de 2017.

SILVA, J.G.F.; ULIANA, E. M.; PIMASSONI, L. H. S.; RAMOS, H.E. A. Probabilidade de Ocorrência de Dias Chuvosos e Precipitação Mensal e Anual para o Município de Colatina –ES. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16., 2010. Belém, PA. **Anais...**Belém: SBMET, 2010.

SOUZA, M. A.; MÉSQUITA, A.C.; SIMÕES, W.L.; FERREIRA, K.M.; ARAUJO, E.F.J. Physiological and biochemical characterization of mango tree with paclobutrazol

application via irrigation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.46, n.4, p. 442-449, 2016.

SRIVASTAVA, L.M. **Plant Growth and Development: hormones and the environment**. New York: Academic Express, 2002. 772p.

STRASSER, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the fluorescence transient In: Papageorgiou, G. C.; Govindjee (eds.), **Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis**. Advances in Photosynthesis and Respiration Series. Springer: Dordrecht, p. 321-362, 2004.

STRASSER, B.J.; STRASSER, R.J. Measuring fast fluorescence transient to address environmental questions: the JIP-test. In: MATHIS, P. (Ed.). **Photosynthesis: from light to biosphere**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, p. 977-980, 1995.

STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHANTY, P. (Ed.), **Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation**. Taylor and Francis. London. cap. 25, p.443-480. 2000.

STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; QIANG, S.; GOLTSEV, V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1313-1326, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 848p, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 954p, 2012.

UPRETI, K. K.; REDDY, Y.T.N.; PRASAD, S.R. S; BINDU, G.V.; JAYARAM, H.L.; RAJAN, S. Hormonal changes in response to paclobutrazol induced early flowering in mango cv. 'Totapuri'. **Scientia Horticulturae**, vol. 150, p.414–418, 2013.

YUSUF, M.A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R.J.; TSIMILLIMICHAEL, M.; SARIN, N.B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological

and chlorophyll *a* fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Bioenergetics**, v.1797, p.1428-1438, 2010.

ZELITCH, I. The close relationship between net photosynthesis and crop yield. **Bioscience**, v. 32, n. 10, p. 796-802, 1982.

ZHANG, M.; SHAN, Y.; KOCHIAN, L.; STRASSER, R.J. Photochemical properties in flag leaves of a super-high-yielding hybrid rice and a traditional hybrid rice (*Oryza sativa* L.) probed by chlorophyll *a* fluorescence transient. **Photosynthesis research**, v. 126, n. 2-3, p. 275-284, 2015.